

2023年1月17日
関東アセチレン工業株式会社
大陽日酸株式会社

KHKS 0125 改正要望とその安全立証について

1. 改正要望に至る背景

先だつて移動容器規格委員会においてご提出させて頂いたNo.KA22-001「KHKS 0125 アセチレン容器の安全弁に関する基準改正要望書」においても記載の通り、国内半導体製造メーカーによる次世代の半導体製造において溶解アセチレン（高純度品）は大量に使用されることが確定している。ここで使用され消費される高純度アセチレンは、安全且つ安定的に供給する為には先行する米国製と同じく大型容器による供給が望まれており、現に海外（米国、韓国、台湾等）を含めた半導体製造メーカーにおいては米国製の内容積 72 L(71.7 L 米国製容器型式 W-420)の容器による供給体制が既に確立され、十分な市場実績を有しているが、こうした大型容器によって供される高純度アセチレンは国内半導体製造メーカーにおいても 100%輸入に依存している状況である。

日本国内での半導体産業の振興は国が提唱する経済的安全保障の確保に必須であり、我々日本のガスサプライヤーとしてはいち早く海外のガスメーカーと同等以上の供給体制を構築し、日本国並びに日本の半導体製造メーカーの期待に応えることが急務であると認識している状況より、標記 KHKS の適用範囲拡大に伴う改正を上申するものである。

2. 溶解アセチレン容器について

2.1 日本国内で流通している溶解アセチレン容器について

現在、日本国内で流通している溶解アセチレン容器は、3.6 L～41 L のものがあり、一番多く使用されているものは、41 L のものである（参考資料 No.1）。

また、日本国内では、溶解アセチレンは主に鉄の溶断・溶接や、炭素化合物の原料、或いは半導体製造用途として広く利用されている。

鉄の溶断・溶接用に利用される場合の典型的な利用形態は、アセチレン充填工場にて、容器にアセチレンガスを充填。この際、溶解アセチレン容器に充填される条件は、温度 15 °C で 1.52 MPa 以下と定められている。充填後 24 時間静置後、ガス販売店や客先に容器を運搬・保管する。保管方法は、直射日光を避け、通風の良い場所に置き、容器を 40 °C 以下に保って保管する。使用時は、通風の良い場所で行い、溶解アセチレンの消費速度は容器 1 本当たり 1 時間に 1 kg 以下に保つようにする。通常は容器 1 本での使用が基本であり、これ以上の消費を要する場合は集合装置を使用する。

炭素原料に利用される場合の典型的な利用形態は、アセチレンの充填から容器の保管ま

で同じであるが、使用時は大量に溶解アセチレンを使用するため集合装置で使用するのが基本である。

さらに近年では半導体製造用の新しいプロセスとして高純度溶解アセチレンが利用されているが、これについては先述の通り、米国製大型容器で供給されている関係上、日本国内で充填ができない為、100 %海外からの輸入に依存している状況である。

2.2 米国内で流通している溶解アセチレン容器について

現在、米国で流通している溶解アセチレン容器は、2L(米国製容器型式 S-10)~77L(76.7 L 米国製容器型式 W-450)のものがある。その中で、新たに日本国内で使用したいと考えている容器に相当するものは、72L と 77L のものである(参考資料 No.2)。

また、米国内では、溶解アセチレンは主に鉄の溶断・溶接や、炭素化合物の原料、半導体製造用途として広く利用されている。

鉄の溶断・溶接用に利用される場合の典型的な利用形態は、アセチレン充填工場にて容器にアセチレンを充填。この際、溶解アセチレン容器に充填される条件は、米国運輸省(Department of Transportation)の連邦規則集(Code of Federal Regulations)の中の49CFR173.303(b)に記載されており、温度 21.1 °C (70 °F) で 1.72 MPa (250 psig) 以下と定められている。充填後、ガス販売店や客先に容器を運搬・保管する。保管方法は、換気の良い場所に保管し、容器を 51.7 °C(125 °F)以下に保って保管する。溶解アセチレン容器の保管方法や取扱方法は、米国運輸省(Department of Transportation)の連邦規則集(Code of Federal Regulations)の中の29CFR1910.102(a)に記載されている。溶解アセチレンの消費速度は、1時間あたりシリンダー容量の1/10(72L容器の場合、1時間で約1.39 kg)を超えない速度で、使用する必要があり、溶解アセチレンを完全に取り出すには、1時間あたりの使用量をシリンダー容量の1/15(72L容器の場合、1時間で約0.93 kg)を超えてはならない。通常は容器1本での使用が基本であり、これ以上の消費を要する場合は集合装置を使用する。

炭素化合物の原料に利用される場合の典型的な利用形態は、アセチレンの充填から容器の保管まで同じであるが、使用時は大量に溶解アセチレンを使用するため集合装置で使用するのが基本である。

半導体製造の用途として用いられる高純度溶解アセチレンについては日本より先んじて利用されており、同工程については台湾、韓国、中国でも大型溶解アセチレン容器で供され、使用実績を積んでいる。

先述の通り、米国での高圧ガス容器製造メーカー大手である Norris Cylinder Company においてもラインナップされる溶解アセチレン容器は同社の HP に掲載されている(参考資料 No.3)。Model S-10~W-450 まであり、また米国内の同業者における溶解アセチレン容器ラインナップにも同様に W-420(内容積:71.7 L)や W-450(内容積:76.7 L)の大

型容器がラインナップされていることから、W-420 や W-450 などの大型溶解アセチレン容器は米国内での一定の需要の下、相当の市場実績があるものと判断される。

3. 改正内容

改正内容は次の通りとなります。

(傍線部分は改正部分)

改正案	現行
<p>P1</p> <p>1 適用範囲</p> <p>このアセチレン容器の安全弁に関する基準（以下「基準」という。）は、<u>高压ガス保安法に規定するアセチレンを充填する内容積 8.0 L 未満</u>で、長さ <u>1.2 m</u> 以下の鋼製溶接容器（以下「容器」という。）に装着する安全弁に適用する。</p>	<p>P1</p> <p>1 適用範囲</p> <p>このアセチレン容器の安全弁に関する基準（以下「基準」という。）は、<u>高压ガス保安法に規定するアセチレンを充填する内容積 6.0 L 未満</u>で、長さ <u>1 m</u> 以下の鋼製溶接容器（以下「容器」という。）に装着する安全弁に適用する。</p>

改正案	現行																					
<p>P1~2</p> <p>5 安全弁の数及び取付場所</p> <p>単体型安全弁の数及び取付場所は、表 1 に掲げる容器の内容積に応じた数及び取付場所とする</p> <p>表 1—安全弁の数及び取付場所</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>容器の内容積 (L)</th> <th>数 (個)</th> <th>取付場所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25 未満</td> <td>1 以上</td> <td>容器肩部 (内容積 3.5L 以下の容器は、ネックリングでもよい。)</td> </tr> <tr> <td>25 以上 60 未満</td> <td>2 以上</td> <td>容器の肩部 (1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)</td> </tr> <tr> <td><u>60 以上 80 未満</u></td> <td><u>3 以上</u></td> <td><u>容器の肩部</u> <u>(1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)</u></td> </tr> </tbody> </table>	容器の内容積 (L)	数 (個)	取付場所	25 未満	1 以上	容器肩部 (内容積 3.5L 以下の容器は、ネックリングでもよい。)	25 以上 60 未満	2 以上	容器の肩部 (1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)	<u>60 以上 80 未満</u>	<u>3 以上</u>	<u>容器の肩部</u> <u>(1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)</u>	<p>P1~2</p> <p>5 安全弁の数及び取付場所</p> <p>単体型安全弁の数及び取付場所は、表 1 に掲げる容器の内容積に応じた数及び取付場所とする</p> <p>表 1—安全弁の数及び取付場所</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>容器の内容積 (L)</th> <th>数 (個)</th> <th>取付場所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25 未満</td> <td>1 以上</td> <td>容器肩部 (内容積 3.5L 以下の容器は、ネックリングでもよい。)</td> </tr> <tr> <td>25 以上 60 未満</td> <td>2 以上</td> <td>容器の肩部 (1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)</td> </tr> </tbody> </table>	容器の内容積 (L)	数 (個)	取付場所	25 未満	1 以上	容器肩部 (内容積 3.5L 以下の容器は、ネックリングでもよい。)	25 以上 60 未満	2 以上	容器の肩部 (1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)
容器の内容積 (L)	数 (個)	取付場所																				
25 未満	1 以上	容器肩部 (内容積 3.5L 以下の容器は、ネックリングでもよい。)																				
25 以上 60 未満	2 以上	容器の肩部 (1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)																				
<u>60 以上 80 未満</u>	<u>3 以上</u>	<u>容器の肩部</u> <u>(1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)</u>																				
容器の内容積 (L)	数 (個)	取付場所																				
25 未満	1 以上	容器肩部 (内容積 3.5L 以下の容器は、ネックリングでもよい。)																				
25 以上 60 未満	2 以上	容器の肩部 (1 個は、バルブ一体型安全弁でもよい。)																				

今回改正を要望する主題目は、「1 適用範囲」に規定されている容器の内容積及び長さの制限である。適用範囲は、KHKS 0125 の構成要素の前提基本条件であるため、KHKS 0125 を構成する適用範囲以外の以下の条項のうち、「1 適用範囲」を拡大することにより影響する条項について精査した。

その結果、「5 安全弁の数及び取付場所」に影響があることを確認した。このため、新たに拡大しようとする内容積 60 L 以上の容器に具備すべき「5 安全弁の数及び取

付場所」について検討する必要ある。

なお、「6 ガスの噴出方向」については、解説の「6 ガス噴出方向」の趣旨に変わりはなく、また、安全弁の数及び取付場所にかかわらず満足できるため、現行規定のまままでよいと判断した。

2	引用規格	10	安全弁の検査
3	用語の定義	10.1	一般
4	安全弁の方式	10.2	材料試験
5	安全弁の数及び取付場所	10.3	耐圧試験
6	ガスの噴出方向	10.4	外観検査
7	安全弁の材料	10.5	気密試験
8	安全弁の寸法	10.6	作動試験
9	安全弁の取付座	11	安全弁の装着

4. 改正要望の妥当性にかかわる検討

4.1 適用範囲について

(1) 溶解アセチレン容器の規制に係る日米比較

溶解アセチレン容器（附属品及び容器内に充填する多孔質物を含む）の製造時に適用される規制について日本のものと米国のを比較する。

日本の場合、高圧ガス保安法が適用され、容器については容器検査、附属品については附属品検査、容器内に充填する多孔質物についてはアセチレン容器多孔質物性能試験が要求される。また、多孔質物に浸潤させる溶剤としてアセトン又はジメチルホルムアミドが一般高圧ガス保安規則で規定されている。

米国の場合、米国運輸省（Department of Transportation）の連邦規則集（Code of Federal Regulations）が適用され、容器、付属品、多孔質物について規制されている。また、多孔質物に適切な溶剤を充填する必要があることが規定されており、実態はアセトン又はジメチルホルムアミドが使用されている。

また、溶解アセチレン容器が異常時になった際、とくに火災などで火炎に包まれた場合に対応する試験である周囲加熱試験と容器に装着する安全弁を比較する。

周囲加熱試験については、米国内では米国運輸省（Department of Transportation）の連邦規則集（Code of Federal Regulations）が、日本国では高圧ガス保安法が適用されますが、日本における「アセチレン容器多孔質物性能試験規程」はCGA(Compressed Gas Association)の「CGA C-12_2020 QUALIFICATION PROCEDURE FOR ACETYLENE CYLINDER DESIGN」に規定されている、「CGA C-14_2020 PROCEDURES FOR FIRE TESTING OF DOT CYLINDER PRESSURE RELIEF DEVICE SYSTEMS」が定める周囲加熱試験の試験方法と同等になっている。違いは、判定基準になり、CGA C-14は、溶栓が作動し容器が破裂しなければ合格、高圧ガス保安協会が規定するアセチレン容器多孔質物性能試験規程の周

囲加熱試験は、溶栓が作動し容器が破裂せず、かつ、容器内部においてアセチレンの分解が著しく進行していないことが合格条件となります。

容器の安全弁については、CGA規格は、米国運輸省（Department of Transportation）の連邦規則集（Code of Federal Regulations）の中の49CFR171.301に記載されており、安全弁（圧力開放装置）は、1つまたは複数の圧力開放装置を装備する必要がある。同様に日本国では、高圧ガス保安協会が規定する、アセチレン容器の安全弁に関する基準 KHKS0125（2018）のP1からP2の「5 安全弁の数及び取付場所」及び「6 ガスの噴出方向」に記載されている。

日本と米国の規制を比較した。日本は、KHKS0125「1 適用範囲」により容器の内容積及び長さが決められているが、米国では、容器の内容積及び長さによる規制はない。容器検査については、規制内容の検査方法、合否基準など一部異なっている部分はあるが、規制する内容は同程度である。ただし、規制内容の第7条 寸法精度、第12条 組試験における放射線透過試験、第16条 組試験における気密試験の項目は、米国では規制はない。付属品検査についても、規制内容の検査方法、合否基準など一部異なっている部分はあるが、規制する内容は同程度である。ただし、規制内容の第5条 組試験における外観検査、第6条 組試験における材料試験の項目は、米国では規制がない。多孔質物性能試験については、1 圧縮強度試験については、日本では測定を行うが、米国では圧縮強度を測定する規制はない。また、2 多孔度試験、3 振動試験、5 逆火試験、6 衝撃試験については、日本、米国共に同程度の規制内容となっている。周囲加熱試験は、日本の方が、合否基準が厳しくなっている（参考資料 No.4）。

比較した結果、規制内容の検査方法、合否基準など一部異なっている部分はあるが、規制する内容は同等である。

（2）溶解アセチレン容器の使用形態に係る日米比較

日本で流通している溶解アセチレン容器と米国で流通している溶解アセチレン容器は、2.のとおり、容器の構造（容器の図面等）から同等であり、また流通している容器の状態（アセチレンの充填、運搬、保管、消費）は、同等に使用されている。

（3）KHKS0125の適用範囲を拡大することの妥当性について

KHKS0125 解説において、現行の適用範囲を制限している背景として、「一般的に国内に流通している内容積 60 L 未満、長さ 1 m 以下の鋼製溶接容器」、「アセチレン容器多孔質物性能試験に適用した多孔質物及び溶剤が存在するもの」を前提としている。

前者については、

- ① 国内で一般的に流通している典型的な溶解アセチレン容器と米国製の十分な市場実績を有している溶解アセチレン容器は同等の構造である。
- ② 米国製の容器に要求される基準（DOT、CGA 規格）と日本の高圧法で要求される

基準（容器検査、附属品検査、一般則に基づくアセチレン容器多孔質物性能試験）は同等である。

また、後者については、先述の通り米国でも日本の規制と同等の要求がある。

よって、米国で十分実績のある 72 L、77 L 容器をカバーできるように KHKS 0125 の適用範囲を 80 L 未満・1.2 m 以下とすることは妥当である。

4.2 安全弁の数及び取付場所に関する技術的根拠について

KHKS 0125 解説において、安全弁の数及び取付場所の論拠についての以下の記載がある。

- ・(1)アセチレン容器多孔質物性能試験の周囲加熱試験において、総合的にアセチレン容器としての火災時の適合性が確認されている。
- ・(2)安全弁の取付場所は、火災の際に火炎が当たる状況、熱の伝達がよく温度上昇が速いこと等を考慮すると容器の肩部にあることが好ましい。
- ・(5)25 L 以上の容器（内容積 41 L 等）に対する安全弁必要数は、1968 年基準制定時の委員会で提示された計算式に基づき検討され、2 個とされている。

これらの方針に倣い、内容積 80 L 未満・高さ 1.2 m 以下の容器について検討を行った。

- ① 取付場所は、(2)の考えを踏襲し、容器の肩部とする。
- ② (1)より、日本の高圧法適用下では、アセチレン容器多孔質物性能試験の周囲加熱試験が行われることが前提で、(5)の計算式による検証は、周囲加熱試験の条件に基づいて行われている。そのため、当該計算式に「内容積 80 L 未満・高さ 1.2 m 以下の容器」のパラメーターを用いることで、必要安全弁の個数を計算する。

80 L 型容器に必要な溶栓（可溶合金栓）について

溶栓から吹き出す量がわかれば必要な吹き出し面積、そして溶栓数がわかるので、まずは噴出量を求める。

次の式 1 は、アセチレン容器の安全弁に関する基準 KHKS 0125(2018)の P27 を参考にしている。

$$Q = n \left\{ PV + \frac{n'}{n} r + \frac{(n-n')}{n} p \right\} \quad \text{式 1}$$

Q	外部からの熱量	kJ/h
n	流出ガスのモル数	kgmol/h
PV	ガス噴出の仕事量	kJ/kgmol
n'	流出アセチレンのモル数	mol/h
r	アセチレンの気化熱	kJ/kgmol
p	アセトンの蒸発潜熱	kJ/kgmol

式1は、熱力学の第一法則に乗っ取り構成され、左辺は、外部からの熱量、右辺は、溶栓から噴出するガスの仕事量と容器内にあるアセチレンの熱量、アセトンの熱量となっている。

(熱力学の第一法則：エネルギーは、熱、仕事、電気エネルギー、化学エネルギーなど、さまざまな形態をとるが、外部から絶縁された体系のエネルギーの総和は、減ることも増えることもなく一定の値に保存される。熱と仕事が関与する熱力学においても、熱と仕事はともにエネルギーの一形態であって、互いに等価に変換される。)

$$Q = W + \Delta U$$

Q : 外部からの熱量

W : 気体がする仕事

ΔU : 内部エネルギーの変化

$$Q = UA\Delta T$$

U : 総括熱伝達係数 ($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)

A : 伝熱面積 (m^2)

ΔT : 温度差 ($^\circ\text{C}$)

80 L 型容器 (容器外径 311 mm、肉厚 3.4 mm、高さ 1170 mm) に必要な溶栓 (可溶合金栓) を求めるにあたり、前提条件として、過去の周囲加熱試験^{*1}の実績値より容器下部より加熱された煙道ガス温度^{*2}と容器中央部表面温度の差が約 300 $^\circ\text{C}$ のため、温度差を 300 $^\circ\text{C}$ に設定している。

また、容器内圧を 2.52 MPa (40 $^\circ\text{C}$) と設定しました。容器が火炎に包まれると容器壁温の温度は直ちに上昇するが、容器内の多孔質物は熱伝導が悪いので、容器内部の温度上昇は遅れ、圧力はゆっくり上昇します。そのため、高圧ガス保安法の一般高圧ガス保安規則第 6 条の 2 第 8 項ホで、容器保管温度の最高条件である 40 $^\circ\text{C}$ と設定し容器内圧が一番高い状態で火災に遭い、溶栓からのガス放出量が最大の場合で設定している。

*1 周囲加熱試験は、容器が火災などで、火炎に包まれた場合に対応する試験である。
(参考資料 No.5)

*2 煙道ガス温度とは、周囲加熱試験で使用する鋼板製の煙突は円筒になっており、その円筒の中に容器を垂直に立てた時、鋼板製の煙突と容器との間に 50 mm の隙間を設けて容器下部より加熱された空気が抜ける構造になっておりその空気が煙道ガスになります。その煙道ガスの温度を測定している。

80 L 型容器の表面積	1.20 m^2 (容器外径 311 mm、肉厚 3.4 mm、高さ 1170 mm)
総括熱伝達係数	1255 $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
煙道ガス温度と容器中央部表面温度の温度差	300 $^\circ\text{C}$
アセトンの蒸気圧	0.0565 MPa (40 $^\circ\text{C}$)
容器内圧 (40 $^\circ\text{C}$)	2.52 MPa
アセチレンの気化熱	14058 kJ/kgmol

アセトンの蒸発潜熱 30405 kJ/kgmol

上記よりそれぞれの数値を求める。

Q は外部からの熱量なので、容器の表面積と総括伝熱係数と温度差をかけて求める。

$$Q = 1.20 \times 1255 \times 300 \quad (\text{kJ/h}) \quad \text{式 2}$$

PV はガス噴出の仕事量であるので、理想気体の状態方程式($PV=RT$)を用いる。

$$PV = 8.314 \times (273 + 40) \quad (\text{kJ/kgmol}) \quad \text{式 3}$$

n は流出アセチレンのモル数ですが、今回は分圧の法則を用い、圧力比とモル分率は等しくなるので、まずは圧力比を求める。

容器内のアセトンの圧力比は、

$$\frac{n''}{n} = \frac{0.0565}{2.52} \quad (\text{MPa}) \quad \text{式 4}$$

この式 4 は圧力比なので $\frac{n''}{n}$ とする。

これにより、アセチレンの圧力比は、

$$\frac{n'}{n} = 1 - \frac{0.0565}{2.52} \quad (\text{MPa}) \quad \text{式 5}$$

となり、この数値も圧力比なので $\frac{n'}{n}$ とする。

式 4、式 5 とともに圧力比だが、モル分率と等しいので、そのまま計算をする。

式 1 より、右辺の $\frac{(n-n')}{n}p$ は、アセトンの熱量であるので、 $\frac{n''}{n}p$ と変換をする。

$$Q = n \left\{ PV + \frac{n'}{n}r + \frac{n''}{n}p \right\} \quad \text{式 6}$$

それぞれ求めた数値(式 2、式 3、式 4、式 5)を、式 6 に代入していくと、

$$\begin{aligned} & 1.20 \times 1255 \times 300 \\ &= n \left\{ 8.314 \times (273 + 40) + \left(1 - \frac{0.0565}{2.52} \right) \times 14058 \right. \\ & \quad \left. + \frac{0.0565}{2.52} \times 30405 \right\} \quad \text{式 7} \end{aligned}$$

この式 7 を解くと、

$$n = 26.54 \quad (\text{kgmol/h}) \quad \text{式 8}$$

となり、式 8 は溶栓から噴き出す流出ガスのモル数であるので、アセチレンの分子量の 26 から kg に変換すると、

$$26.54 \times 26 = 690.0 \text{ (kg/h)} \quad \text{式 9}$$

式 9 が得られます。

必要な吹き出し面積について

使用する式は、一般高圧ガス保安規則例示基準の 13.圧力計及び許容圧力以下に戻す安全装置の (3) バネ式安全弁、破裂板又は逃し弁に係る吹き出し量又は流出量の計算式、イ バネ式安全弁又は破裂板 (i) の、下記の式 10 を使用する。

溶栓は一度作動すると破裂板と同じで容器内部のガスが無くなるまで吹止まることはありませんので、破裂板に適用される計算式を使用した。

$$w = KCPA \sqrt{\frac{M}{ZT}} \quad \text{式 10}$$

w	放出流量	kg/h
K	断熱指数	1.26
C	断熱指数に対応する数値	2600
A	吹き出し有効面積	cm ²
P	圧力	MPa
M	ガス分子量(アセチレン)	26
Z	圧縮係数	1
T	ガス温度(絶対温度)	K

前提

w の放出流量は式 9 より、	690.0 kg/h
P の圧力は容器内圧であるので	2.52 MPa
T のガス温度は 40 °C で	313 K

上記の数値を式 10 に代入すると、

$$690.0 = 1.26 \times 2600 \times 2.52 \times A \sqrt{\frac{26}{1 \times 313}} \quad \text{式 11}$$

この式 11 を解くと、

$$A = 0.2900 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$= 29.0 \text{ (mm}^2\text{)} \quad \text{式 12}$$

となり、必要な吹き出し面積を求めることが出来る。

現在容器で使用している溶栓の吹き出し径（KHKS0125 で規定されている最小径）は、直径4 mmなので、溶栓 1 つあたりの吹き出し面積は、式 13 の 12.6 mm²になる。

$$\frac{4^2}{4}\pi = 12.6 \text{ (mm}^2\text{)} \quad \text{式 13}$$

式 12 と式 13 より、内容積 80 L の容器は吹き出し面積が 29.0 mm²に対して、直径4 mmの溶栓 3 個で 37.8 mm²なので、溶栓の数は 3 個で満足する。

$$12.6 \times 3 = 37.8 > 29.0 \text{ (mm}^2\text{)} \quad \text{式 14}$$

以上