

経済産業省
商務流通保安グループ
鉦山・火薬類監理官付殿



火工品安全性評価説明資料

< ボーイング式787型機の旅客用酸素ボトル穿孔用イニシエータ >

日本航空株式会社

令和2年2月7日

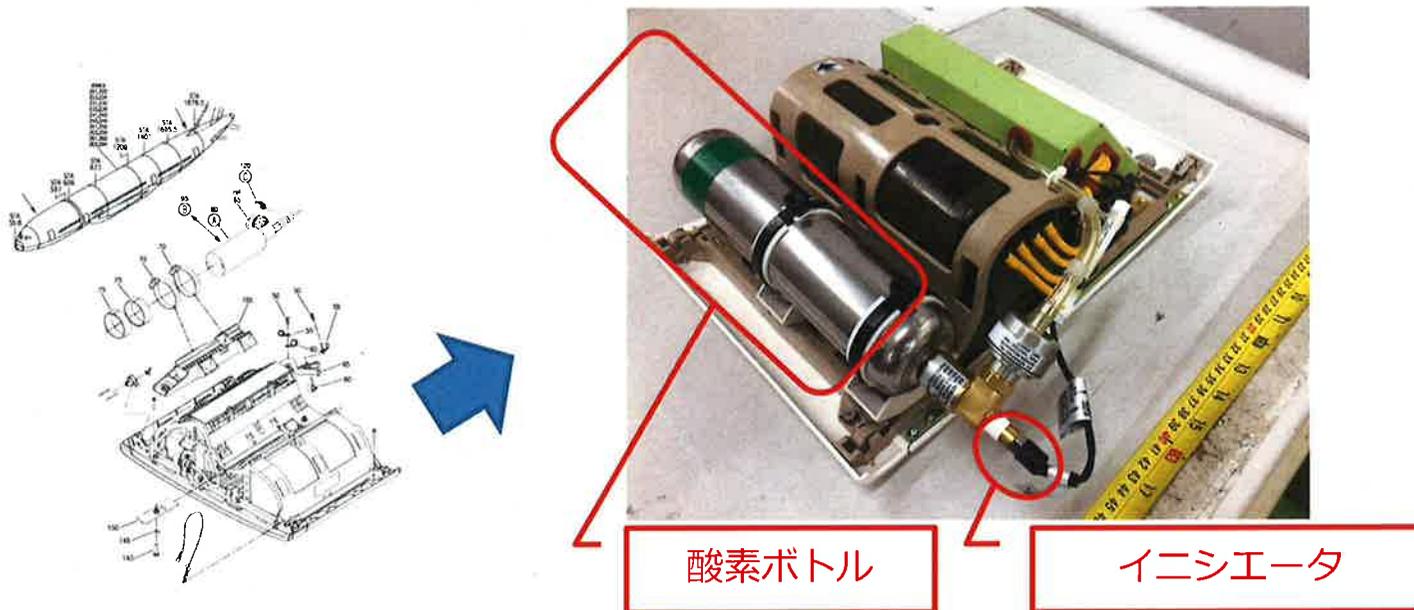
この資料はB/E Aerospace社(a part of Collins Aerospace)提供の資料より引用しており許可を得たものである。秘密保持契約により他社への無断開示や適用除外申請の目的以外での使用は一切禁止されている。

火取法適用除外申請の背景

— ボーイング式787型機の旅客用酸素ボトル穿孔用イニシエータ —

【背景】

現在、国内では日本航空(株)(以下、JAL)と全日本空輸(株)(以下、ANA)とが運航しているボーイング式787型旅客機においては、高高度運航中に急減圧発生の非常時を想定し、高度を十分下げるまでの間、旅客および客室乗務員に対し酸素(ガス)をマスクを通じ供給する装置が客室天井パネル内に装着されており、ここに酸素ボトル穿孔用の火工品であるイニシエータが使用されている。



客席天井パネル
(裏側(上方)から撮影)

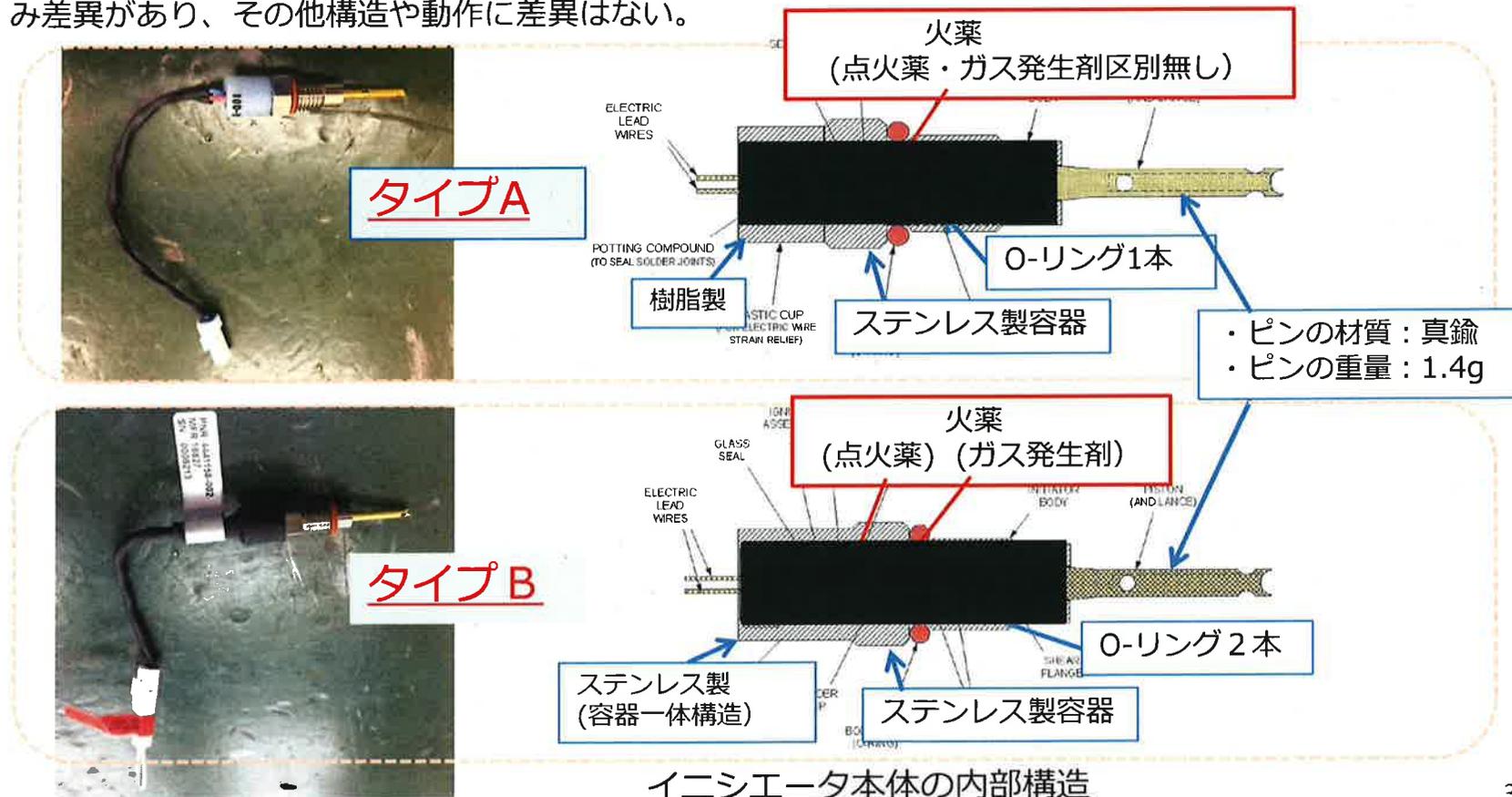
イニシエータ (火工品) の構造について (タイプA・B共通)



① 対象火工品

旅客非常用酸素ボトルの解放機構に用いられるイニシエーター (火工品。米国メーカー製。) は、火薬を封入した本体に点火用信号線 (電線) が固定された状態が最小分解単位である。

イニシエータには、タイプA(部品番号: 4441158-001) と、改良・現行型のタイプB(部品番号: 4441158-002) の2種が互換品として現用されているが、薬種と薬量が若干異なること以外は、前者の電線取出し部が薄青色の樹脂製であるのに対し、後者は強度を高めるためステンレス本体が延伸され黒い熱収縮チューブで覆われている点、およびピンと本体内面摺動部のO-リング本数が1本から2本に変更された点のみ差異があり、その他構造や動作に差異はない。



イニシエーター（火工品）に使用される火薬類について



1. 火薬の種類・薬量

イニシエータ	点火薬 (薬量)	ガス発生剤 (薬量)	部品番号
タイプA	トリニトロレゾルシンバリウム (28mg) (*1)		4441158-001
タイプB	[REDACTED]	硝酸塩を主とする火薬 [REDACTED] (*2)	444-1158-002

(*1): 点火薬・ガス発生剤区別無し総量

(*2): [REDACTED]

2. 反応生成物(化学反応式) :

- ・トリニトロレゾルシンバリウム :

[REDACTED]

- ・硝酸塩を主とする火薬 :

[REDACTED]

- ・爆発熱（化学反応熱） : タイプA: [REDACTED] J
 タイプB: [REDACTED] J (点火薬とガス発生剤の合計値)

イニシエーター（火工品）に使用される火薬類について



3. 感度

	落槌感度試験 (BAM Fallhammer)	摩擦感度試験 (BAM Friction Apparatus)	発火点 (Ignition Point)
トリニトロレゾルシンバリウム(*1)	11 J	17 N	346℃~361℃
硝酸塩を主とする火薬(*2)	≥7.5 J	≥360 N	UNK

(出展)(*1)Pu San Wang and Genola F. Hall, Monsanto Research Corp. for U.S. Department of Energy: "Friction, Impact, and Electrostatic Discharge Sensitiveness of Energetic materials"(1985) (BAM Friction Apparatus=1.7kg, BAM Fallhammer=113kg-cm)

(*2)Orica, Dyno Nobel Sweden AB: "Technical Data Sheet- Black Powder"(2007)

なお、整備マニュアルには、イニシエータの点火方法として、DC 24ボルト(V)、5アンペア (A)を加電する旨が記載されている。

4. 威力

- イニシエータ点火によりピンが平均6.35mm(1/4 inch)延伸されるが、作動時の平均速度 \blacksquare m/秒 (6.35mm延伸に要する時間 \blacksquare 秒から算定) とピンの重量1.4gを用いてピンの運動エネルギーは：

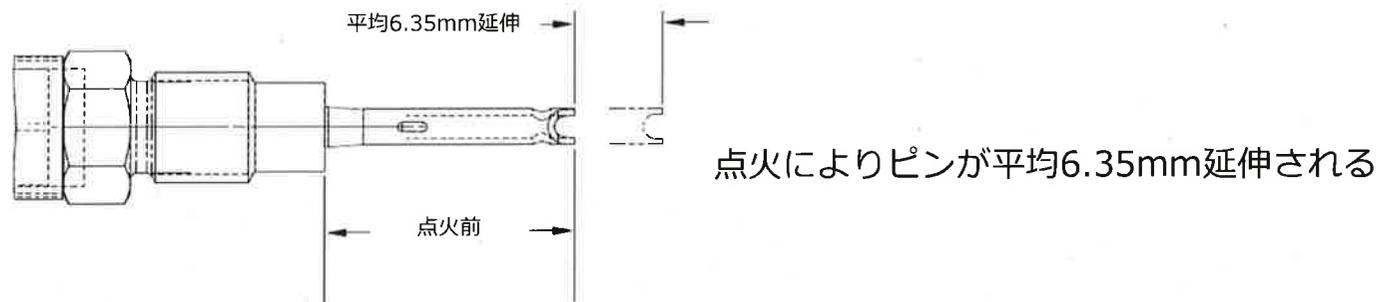
$$1/2mv^2 = 1/2 \times 1.4 / 1000 \times \blacksquare^2 = \mathbf{0.00 \blacksquare J} \Rightarrow \blacksquare \mathbf{mJ(ミリジュール)}$$
 と算定される。

イニシエーター（火工品）の一般的状況について （タイプA・B共通）



1. 用途

- ・動作の順序は、機内の圧力感知器が急減圧を感知すると、各客室座席上部に設置されたパネルから酸素マスクが自動的に落下される。（操縦士の手動操作も可能）
- ・旅客および客室乗務員が酸素マスクを装着し吸気運動をすると、上記パネル内の圧力感知器が吸気動作を感知し、イニシエーターに直流電圧が加電されることでイニシエータの火薬に点火される。
- ・点火によりイニシエーター内封のピンが平均6.35mm(最大7.7mm)押し出され、高圧ガスボトルレギュレータ部に設けられた貫通穴を通じて、レギュレータと高圧ガスボトル間に挟まれた状態で高圧ガスを封印している封入版(Rapture Disk)を穿孔することにより、酸素（ガス）の放出が開始される。
- ・点火による外殻外への飛散物は無く、また、生成ガスの外殻外への放出も発生しない。
- ・火薬の再充填は実施不能であり、使用は1回のみである。



イニシエータ本体とピンの拡大図

2. 使用場所

- ・航空機客室天井パネル内（トイレおよび乗務員休憩バンク含む）

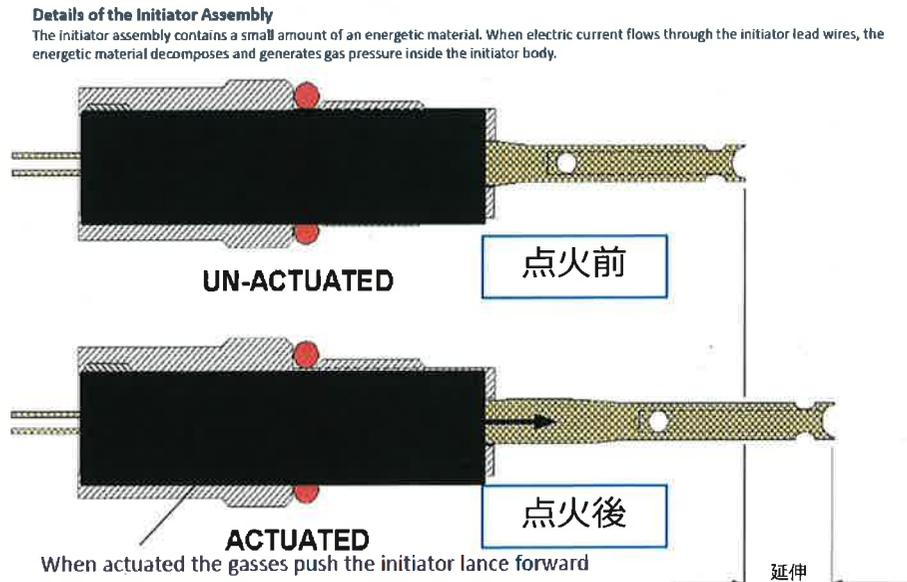
イニシエーター（火工品）の一般的状況について （タイプA・B共通）



3. 使用者

弊社で購入後、部品領収検査員、庫外貯蔵庫管理者（ストア要員）、運搬業者、航空機整備士、廃棄業者により取扱が行われる。但し、イニシエータ単体で購入することではなく、イニシエータが高圧ガスに組み込まれた状態にて購入し、以後、保管、運搬、航空機への搭載・降載、再保管、廃棄までの全てにおいて組み込まれた状態で取扱が為される。また、航空機専用部品であるため一般向けの販売は行われず、また航空機搭載中は客室内天井裏に隠ぺいされるため、一般人が触れることは一切無い。

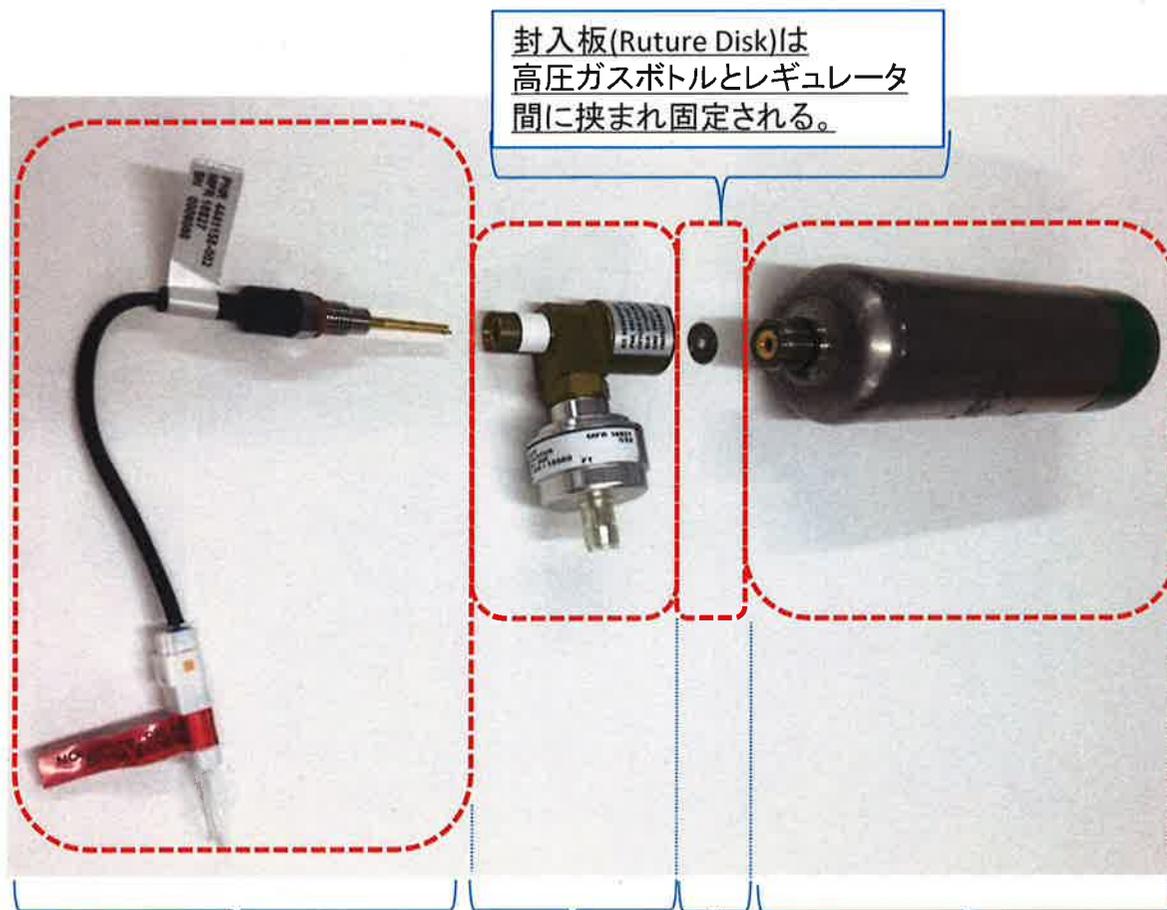
4. 製品の構造図



The initiator is a complete sealed unit, during operation there is No Explosion, Sparking or Smoke emitted from the initiator assembly during function.



イニシエーター (火工品) の作動 (タイプA・B共通)



イニシエータ
(写真はタイプB)

高圧ガスレギュレータ
(高圧ガス噴出口。
イニシエータのピンが封入
板に達するべく予め貫通穴
が設けられている。)

封入板
(Ruture Disk)
構造詳細は参考
資料①参照。

高圧ガスボトル
(酸素)



イニシエータのピンは、レギュレータ
に予め設けられた貫通穴を通じ、
封入板(Ruture Disk)を穿孔する

イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）



経産省・適用除外火工品審査実施要領（内規）（20170516商局第1号平成29年5月29日）に沿って、安全性試験の試験方法と結果、及び基準を満たしているか否かを次頁以降に列記します。

イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）

①外殻構造試験

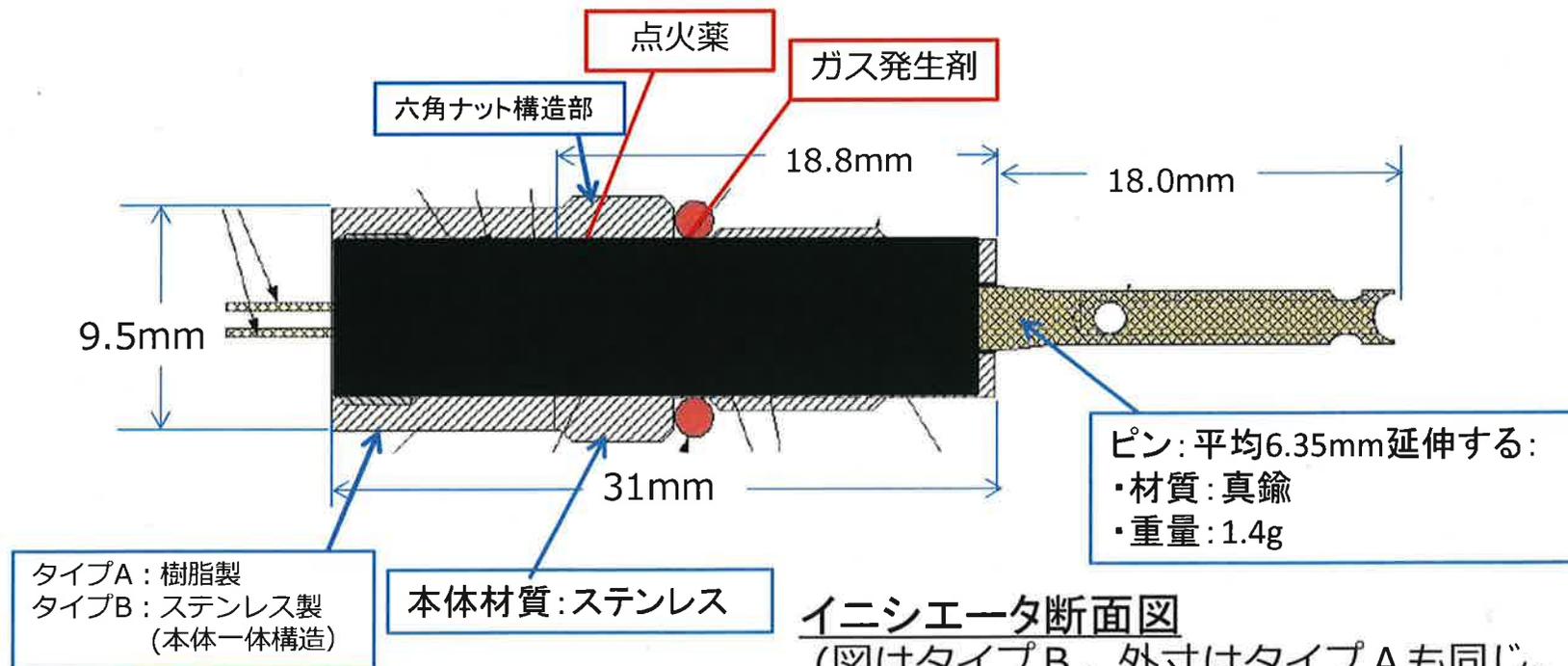
試験方法（内規）：

目視及び図面により、内部の火薬類等が容易に取り出せないかどうかを調べる。試験は、特殊工具を用いずに分解可能な最小単位で行うこと。

結果・評価：

タイプAおよびタイプBともに、イニシエータの火薬はステンレス製の金属容器(直径約9.5mm、タイプAは長さ約18.8mm、タイプBは長さ約31mm)に封入された構造になっている。点火により容器の片側からピンが平均6.35mm突出する仕組みとなっているが、タイプAおよびタイプBともに、ピン側は容器との隙間はO-リングで密封されており、また、ピンの反対側は電線取出部に硬質樹脂を流し込んで金属容器と固着し一体化された密封構造になっている。

火薬が密封されており容易に取出すことはできない構造であるため、内規基準を満足していると判断される。



イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）



②通常点火試験

試験方法（内規）：

1つの供試火工品を、点火により移動することのないように通常の使用環境を想定し、その構造に適した装置等を用いて固定し、通常点火する。

試験は、特殊工具を用いなくて分解可能な最小単位で行い、供試火工品のサンプリング個数は3個とする。

ただし、製品に組み込むと最小単位とは異なる挙動をする場合には、製品に組み込んだ状態についても試験を行うこと。

結果・評価：

タイプAおよびタイプBの各3個、合計6個について、メーカーの整備マニュアルに従いDC 24Vを加電し通常点火試験を実施した結果：

イ：供試火工品の全てについて、外殻の破損や飛散物は一切発生しなかった。

ロ：飛散も飛翔も発生しないため、ロ項は評価しない。

ハ：試験後に発生する残ガスについては、試験中に4名の目視および聴覚により外部に放出されないことを確認したが、念のため、発生ガスを捕捉すべく水中点火試験をタイプAおよびBそれぞれ3個ずつにおいて実施したところ、放出されるガス容量は0.03cc～0.05ccであり、点火後連続的に放出されるガスは皆無であった。本体とピン前方に蓄えられるガスの体積は構造から約0.068ccと算定される。誤差については、ピン前方のガスが全量放出されなかった可能性が推察される。

従い、点火に伴い発生した燃焼ガスが外殻外に出ないことが、構造どおり確認できたため、供試火工品は周囲に被害を与えないと考える。水中点火試験の状況を次頁に示す。

なお、メーカー説明でも、点火後の外殻の破損や飛散も一切発生せず、発生ガスも全て外殻の中に閉じ込められるとしている。

上記より、内規基準を満足していると判断される。

②通常点火試験(続き)

水中点火試験

発生ガス捕捉のため、水中にて点火する試験を実施した。概要は以下の如くであった。動画は別資料参照。

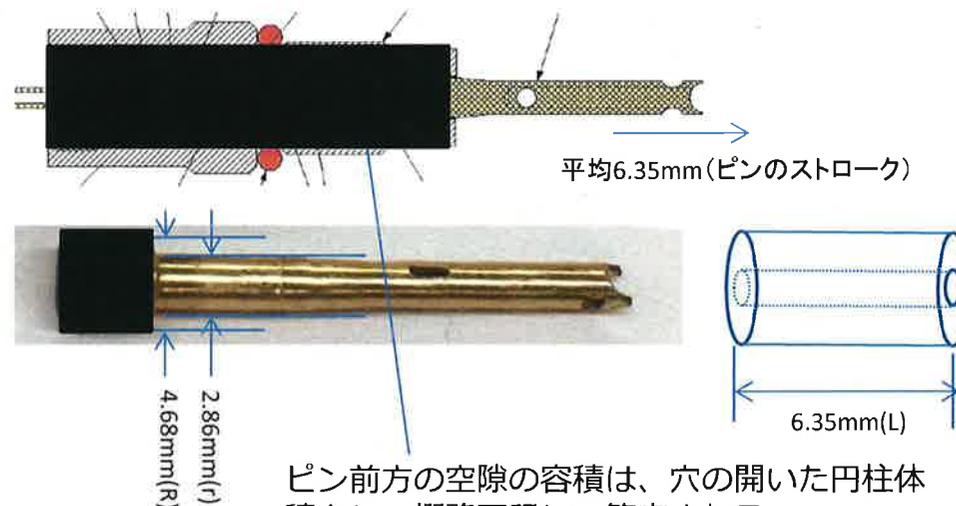
試験方法：

供試火工品を、プライヤーで掴み、水中にて点火する。発生ガスは容器にて捕捉し、シリンダー（注射器）で吸取り容量を測定する。当該試験はタイプAおよびタイプBとも3個ずつ計6回実施する。

結果・評価：

- ・ 6回の結果を下の表に示す。
- ・ いずれの場合もピン前方の空隙の容積 0.068ccに満たないガスが捕捉された。
- ・ ガス捕捉は目視の範囲でほぼ全量を吸取ったと考える。
- ・ ガスは点火直後に発生したのみであり、持続的に発生するようなことは無かった。
- ・ 上記より、点火ガスは外部に発生しないことが確認できたと考える。

ガス容積	タイプA	タイプB
1回目	0.03cc	0.04cc
2回目	0.05cc	0.05cc
3回目	0.04cc	0.03cc
平均値	0.04cc	0.04cc



(*）ピンの外寸 Rおよびrは現物での実測値。Rは最大-最小の中間値を使用。

ピン前方の空隙の容積は、穴の開いた円柱体積として概略下記にて算定される。

$$(\pi(R/2)^2 - \pi(r/2)^2) \times L \doteq 68.4\text{mm}^3$$

⇒ **0.0684cc**

↑
ガスを注射器にて捕捉



イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）



③加熱試験、④振動試験、⑤落下試験、および⑥伝火（爆）試験：

通常点火試験において、供試火工品のすべてについて、外殻の破損や飛散が無く、かつ、外部に燃焼ガスが発生しないことが確認できたことから、内規「(備考)欄の記載に基づき、本火工品について、加熱試験、振動試験、落下試験、伝(火)爆試験を省略する。

また、本火工品については、外殻の一部であるピンが突出する機能を有しているが、ピンの運動エネルギーは[]mJであることから、当該機能は周囲に被害を与えず、通常取扱に状況において安全上の問題がないことが確認できたものとする。

以上より、内規「(備考)」欄の条件を満たすため、これら試験を省略する。

イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）



⑦外部火災試験

試験方法（内規）：

通常の運搬時において隣接する可能性がある数の供試火工品を、所定の装置（供試火工品の構造、大きさ等を勘案した、供試火工品全体を火炎が包むような試験装置）を用いて、供試火工品全体を火炎が包むように試験する。供試火工品のサンプリング個数は通常の運搬時における隣接の可能性がある数とする。燃焼前、燃焼中及び燃焼後の経時変化を写真又は動画により記録する。

結果・評価：

適用除外火工品審査実施要領(内規)別紙1の「火工品の安全性評価基準」に従い試験を実施した。

弊社では、購入から廃棄までの間、火工品は常に高圧ガスボトルに組み込まれた状態で取扱され、火工品イニシエーターが取り外されることは無い。火工品が高圧ガスボトルに組み込まれた状態で、1個ずつ段ボール梱包された状態で運搬される。整備作業での使用は原則1個ずつ使用されるため複数を同時に運搬することは稀である。段ボールに入った状態で複数個数が隣接して運搬される場合でも、火工品同士が隣接することは無い。これらのことから、外部火災試験においては90cm角の金網の上に、供試火工品タイプAを3個交互の向きに並べ、また、同時にもう一種の供試火工品タイプBを3個同様に交互の向きに並べ、これら合計6個について1回の外部火災試験を実施した。

結果、供試火工品は外部火災試験中に全て発火し、飛散物が3個確認されたが飛散距離は最大 2.15mであった。但し、ピンが2個発見不能であった。これら2個については5m以上の飛散距離であったと思われるが、その運動エネルギーは8 Jより十分小さいと考えられる(*1)ことから、周囲に著しい被害を与えないことが確認された。以上のことより、内規基準を満足していると判断される。

(*1)発見不能のピン2個について考察

ピンの重量1.4gより、運動エネルギーが8 Jになるためには速度 $V = 106.9$ m/秒が必要であり、この際の飛散距離(L)は飛散角度45度と仮定した場合、 $L = V \cdot \sin 45^\circ / 9.8 \times V \cdot \cos 45^\circ \times 2 = 1166$ m。他の供試火工品の飛散距離からこれは非現実的であるため、発見不能の2個についても運動エネルギーは8 Jより十分小さいと言える。尚、ピンは真鍮製のため比較的融点が高い（800℃程度）ため、火炎により熔融または熔融に近い状態で点火されたため点火時の衝撃で根元部から破断し飛散したものと推定される。

なお、メーカーでは火工品が高圧酸素ボトルに組み込まれた状態で外部火災試験を実施しており、組み込まれた状態での安全性も別途確認されている。その様子を参考資料②に示す。

イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）



⑦外部火災試験

試験時の写真を以下に示す。

<結果>：

- ・ 3個の飛散物が確認された（ピン2個とタイプB本体1個）が、これは燃焼中の点火によるピン延伸時の衝撃で一部のイニシエータのピンが破断し飛散、もしくは、延伸の反動で本体が飛散したものと考えられる。飛散距離と重量は次頁参照。
- ・ 点火用導線側からの飛散は発生しなかった。
- ・ 発見できなかったピン2個（タイプAまたはB)についての考察は、前頁参照。

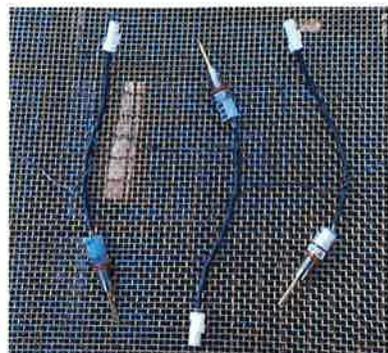
飛散物の状況

飛散物	ピン	本体
タイプA	3個中1個 (内0 or1個未発見)	3個中0個
タイプB	3個中3個 (内2 or1個未発見)	3個中1個

タイプA x 3個

タイプB x 3個

燃焼前



燃焼後



燃焼中

イニシエーター（火工品）の安全性評価試験（タイプA・B共通）

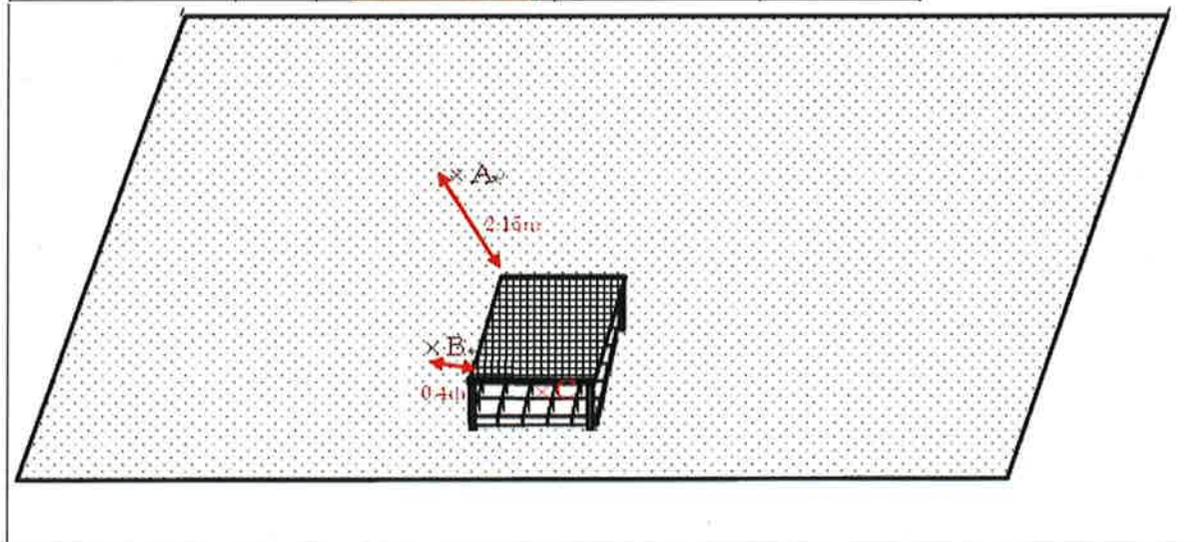


⑦外部火災試験

飛散物の状況は下の通り。

飛散物のデータ

飛散物	飛散距離 m	質量 g	
A	2.15	1.05	← タイプAまたはBのピン
B	0.4	10.09	← タイプBの本体
C	0.5 (燃料オイルパンの中)	0.99	← タイプAまたはBのピン



飛散物の概略図

イニシエーター(火工品)の流通形態、耐用年数 および廃棄の方法について (タイプA・B共通)



1. 流通形態

(1)購入経路

当該火工品は、航空機専用部品として本邦へ輸入通関後、弊社にて領収検査を実施し保管庫（庫外貯蔵庫）にて火取法に従い厳重に保管管理が為される。航空機整備のため弊社整備士に引渡され（運搬会社(委託先)経由の場合あり）、機上で交換作業が実施され、取降された火工品は廃棄までの間、再度保管庫にて保管管理される。



(2)一般販売

一般向けの販売は一切行われぬ。

2. 耐用年数

イニシエーターは製造日から10年の耐用年数が製造メーカーにより指定されている。

3. 廃棄の方法

取降された火工品イニシエータ（高圧ガスボトル付）は、未作動品も作動済品も火工品として廃棄を実施する（火工品の作動有無の確認が外観から不能のため）。機体から弊社整備士が取卸後、廃棄までの間 弊社庫外貯蔵庫にて厳重に保管管理され、専門の処理業者に廃棄処理を依頼する。処理業者では火工品を燃焼等による処理後、都道府県の条例に従って廃棄物として処理される。

参考資料①②は非公開

(参考資料③)

米国運輸省(DOT)発行のレター

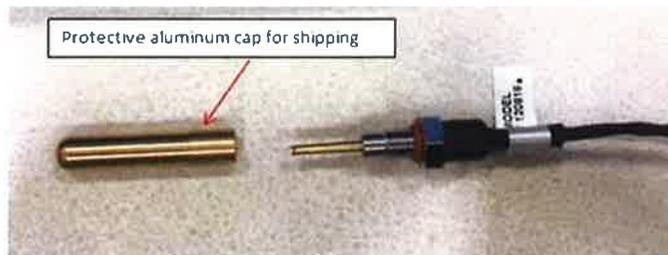
米国運輸省(Department of Transportation)は、本製品について「火薬類として規制しない」旨の判断を書簡にて発行している。

(DOT Competent Authority EX2007060130, July 9, 2007)



(本書簡はDOTの下記サイトから検索可能です。)

<https://www.phmsa.dot.gov/approvals-and-permits/hazmat/approvals-search>



Protective Capはイニシエータ単体での販売時に装着される。
(JAL購入品は高圧ガスボトルとの一体型のためProtective Capは装着されていない)



U.S. Department
of Transportation

East Building, PHH - 32

1200 New Jersey Avenue, Southeast

Washington, D.C. 20590

**Pipeline and Hazardous
Materials Safety Administration**

**The US Department of Transportation
Competent Authority for the United States**

CLASSIFICATION OF EXPLOSIVES

Based upon a request by Eagle Picher Technologies, LLC, 14212 N. Bethel Road, Seneca, MO, the following items are classed in accordance with Section 173.56, Title 49, Code of Federal Regulations (49 CFR). A copy of your application, all supporting documentation and a copy of this approval must be retained and made available to DOT upon request.

U.N. PROPER SHIPPING NAME AND NUMBER:

Not Regulated as an Explosive, NONE

U.N. CLASSIFICATION CODE:

REFERENCE NUMBER

EX2007060130

PRODUCT DESIGNATION/PART NUMBER

1SE-606/1SE-606A Bottlecutter with Protective
Cap

NOTES:

This classification is only valid when the device is fitted with its protective aluminum cap during transport.

DATED: July 9, 2007

Approved by:

Bob Richard
Deputy Associate Administrator for
Hazardous Materials Safety