

特則承認申請明細書

宇宙航空研究開発機構 種子島宇宙センターで運用中のH-II Aロケット及びH-II Bロケット（以下「基幹ロケット」という）の固体ロケットブースター（以下「SRB-A」という）を種子島宇宙センターの第2火薬庫で最大3本保管するため、貯蔵量の増に係る特則承認を申請したく、その概要について以下に説明します。

現状の第2火薬庫の設置許可及び特則承認内容は以下のとおりです。

[当初設置時]

- (1) 火薬庫区分 : 地上式1級火薬庫
- (2) 貯蔵火薬類の種類 : 火工品
- (3) 最大貯蔵量 : 80トン（火薬換算）
- (4) 第2火薬庫設置時の特認（昭和54年2月28日 54立第47号 認可）
 - ①壁の一部を爆風抜き対策として石綿スレート葺きとする。
（平成19年に無石綿スレートへ変更 平成19年3月7日消防第5号の9）
 - ②床面は地盤面を同一とし、通気口を設けず、空調施設により湿気対策とする。
 - ③火薬庫の暖房は温水を使用せず、温風又は冷風を使用した循環空気によるものとする。
 - ④火薬庫の屋根はコンクリート造りとする。
 - ⑤既設の土堤及び自然山体を利用すること等により火薬庫の土堤は省略する。
 - ⑥火薬庫の天井裏又は屋根に取り付けるべき金網を省略する。

[平成26年2月]

- (1) 第2火薬庫にSRB-Aを保管するための置台を設置する場合の高さ制限に関する特認（平成26年2月24日認可 20140212 商第25号）
 - ①搬出入装置を使用して貯蔵する場合の火薬類を収納した容器包装の高さを4.72m以下とする。

第2火薬庫の配置を図-1に示します。

第2火薬庫の平面図、立面図、外観写真を図-2に示します。

1. 特則承認を受けようとする事項

火薬類取締法施行規則（以下「規則」という）第 32 条（危険の虞のない場合の特則）に基づき、規則第 20 条（最大貯蔵量）に規定する貯蔵火薬類の数量について特則承認を申請します。

2. 特則承認申請する理由

本申請に係わる第 2 火薬庫（一級火薬庫）における火薬類の貯蔵量が規則第 20 条に規定する数量（火薬 80 トン）の基準を満たすことができないため、規則第 32 条により特則承認を申請するものです。

3. 特則承認申請の内容

種子島宇宙センターで打ち上げられる我が国の基幹ロケット（H-II A ロケット及び H-II B ロケット）用 SRB-A 3 本を第 2 火薬庫に貯蔵するため、最大貯蔵量として 200 トン（火薬換算）を必要とします。

これらを必要とする理由を 4 項に、安全性については 5 項に示します。

また、法定保安距離については表-1 のとおりであり、すべての保安物件に必要な距離を確保しています。保安距離の確保状況を図-3 に示します。

表-1 第 2 火薬庫 火薬貯蔵量 200 トンの場合の保安距離

火薬庫：第 2 火薬庫（一級火薬庫）最大貯蔵量：200 トン（火薬換算） 100 トン（爆薬換算）				
保安物件 ^(注)		実距離 (m)	法定保安距離	
			距離 (m)	計算式
第 1 種	広田地区 善福寺 (社寺)	2200	747	$550 \times \sqrt[3]{100} / \sqrt[3]{40}$
第 2 種	広田地区 (村落の家屋)	2000	652	$480 \times \sqrt[3]{100} / \sqrt[3]{40}$
第 3 種	小型衛星推進薬 充填棟 (工場)	290	184(*1)	$270 \times \sqrt[3]{100} / \sqrt[3]{40} \quad / 2$
第 4 種	固体ロケット組立棟 (火薬類取扱所)	220	116(*1)	$170 \times \sqrt[3]{100} / \sqrt[3]{40} \quad / 2$

* 1 通商産業省告示 49 通告第 59 号第 2 号のロ適用

(注) 保安物件の種類毎に当該火薬庫に距離が最も近い物件を記載

4. 特別承認申請に至った理由

種子島宇宙センターにおけるSRB-Aの貯蔵は、平成25年度まで日油株式会社（以下「日油」という）へ継承した第3火薬庫及び第4火薬庫にて実施してきましたが、平成25年度からSRB-Aの搭載本数が多いH-II Bロケットが本格運用されることとなり、SRB-Aの貯蔵量が不足することが考えられたため、平成25年10月に日油管理の第3火薬庫の貯蔵量を200トン（SRB-A3本）から270トン（SRB-A4本）に増やす特認を受けました。

また、JAXA管理の第2火薬庫について、床の全面改修や搬入路の拡幅工事を行うことでSRB-A1本を貯蔵可能とする対策を取ってきました。（平成26年2月にSRB-A置台設置に係る火薬保管時の高さ制限を4.72mとする特認が認可された）

現在基幹ロケットの打上げは、基幹ロケットによる打上げ輸送サービスの事業者である三菱重工株式会社（以下MHIという）が打上げの執行を実施しております。基幹ロケットの打上げが順調に推移し、MHIは新たな商業打上げ受注にも成功するなど、打上げ計画はますます多くなり、SRB-Aの貯蔵量が更に不足することが考えられています。

MHIによる今後の打上げ計画を図-4に示します。

MHIによる商業打上げとSRB-Aの製造・貯蔵に関する概要を以下に示します。

現在、種子島宇宙センターでは、SRB-Aの製造（推進薬充填）を日油が実施し、それ以降のSRB-Aの打上げ前準備作業、コア・ロケットへの取付け・打上げ作業をMHIが実施しています。JAXAは打ち上げ安全監理業務、射場施設・設備の維持整備を行い、MHIへは施設・設備の供用、日油へは製造施設・設備の貸与を行っています。

SRB-A製造からロケット打ち上げまでの作業の流れを図-5に示します。

関連する施設の配置を図-6に示します。

SRB-Aは2種類（202型モータ、204型モータ）がありますが、基幹ロケットのラインナップに合わせて、下記の組み合わせで使用されます。

- (1) H-II Aロケット標準型（SRB-A202型モータ2本）
- (2) H-II Aロケット標準型（SRB-A204型モータ2本）
- (3) H-II Aロケット204型（SRB-A204型モータ4本）
- (4) H-II Bロケット（SRB-A204型モータ4本）

上記ロケットは打ち上げのミッションに合わせて選択され、打ち上げ計画に合わせてSRB-Aが製造されます。

大型ロケット組立棟においては、2機のロケットを整備することが可能で、打ち上げ間隔が短い場合に対応できるようになっています。

固体ロケット組立棟においては次のロケット用のSRB-Aの準備作業が行われます。

現在は打ち上げが年間通じて実施可能で、打ち上げ間隔が短く計画されると、先述の(1)又は(2)のロケット(SRB-A 2本使用)、(3)又は(4)のロケット(SRB-A 4本使用)を準備することがあります。この場合、大型ロケット組立棟及び固体ロケット組立棟においては最大7本のSRB-Aが準備され、また、以降の打ち上げのためSRB-Aを継続的に製造していきます。(図-4参照)

SRB-Aの製造(推進薬充填)は1本当たり1.5ヶ月を必要とし、2本分で3ヶ月、4本分で6ヶ月を要します。

また、SRB-Aの準備作業(2本分)に約1.5ヶ月、その後のロケット組立～打上作業には1.5ヶ月を必要とするため、SRB-Aの製造日程については打ち上げ予定時期の約1年前から準備など含めて調整していきます。

一方で、衛星や国際宇宙ステーションの都合で打ち上げ時期が当初計画より遅れることや、ロケット打ち上げ準備作業の都合などで直前になって延期となることがあります。

この様に打ち上げが長期延期となった場合は消費予定が定まっていない準備済みのSRB-Aは火薬庫で貯蔵・保管する必要があります。

上記の点から、なんらかの都合で打ち上げが長期延期となった場合、火薬庫の外にあるSRB-Aを火薬庫に戻す事態や貯蔵期間が長くなる(使用されるSRB-Aの種類の違いにより先入れ先出し出来ない)事態などが想定され、図-4に示しました現状の打上げ計画では最大で10本の貯蔵場所の確保が必要となる状況です。

現在の第3、第4火薬庫及び第2火薬庫ではSRB-A合計8本が貯蔵可能ですが、さらに貯蔵場所を確保する場合、規則第20条(最大貯蔵量)に定められた最大貯蔵量(火薬80トン)に基づくと、SRB-A1本(火薬換算66トン)当たり1棟の火薬庫の新設が必要となります。

現在ある火薬庫は基幹ロケットの射点を中心とした機能の集約、運搬道路の勾配、打上支援設備等を考慮し種子島宇宙センターの北部に設置されています。(図-1参照)。

新たに火薬庫を設置するためには、家屋等の第1種・第2種保安物件、既存施設等の第3種・第4種保安物件との法定保安距離を十分に確保し、かつ安全に運搬にできる道路を作ることができる場所を選ぶ必要がありますが、以下の点で適切な用地を確保し、

火薬庫を新設することが困難となっています。

- (1) 第4火薬庫北部は、第2非破壊試験棟(第4種保安物件)に対しての保安距離が確保できない。
- (2) 西部あるいは南西部には火薬類製造所(日油(株)種子島事業所)並びに第2衛星試験棟などの第3種保安物件があり、保安距離が確保できない。
- (3) 北西部は50mを越える山と”阿武鋤川”の源流があり、起伏が激しく、安定した地盤でかつ安全に運搬できる緩やかな勾配の道路を作ることが難しい。
- (4) 第2火薬庫の東から北東部は海岸に向かって急な斜面になっており、安定した地盤でかつ安全に運搬できる緩やかな勾配の道路を作ることが難しい。
- (5) 北西から南西側は固体ロケット組立棟などの保安物件があり、保安距離が確保できない。

これらの状況を踏まえ、現在の第2火薬庫を活用して貯蔵場所を確保可能か検討しました。検討結果は以下の通りです。

- (1) 第2火薬庫はSRB-Aを最大3本貯蔵できるスペースがある。
- (2) 第2火薬庫は3本貯蔵とした場合の最大貯蔵量でも、保安距離を確保することができ。
- (3) 侵入警戒などのセキュリティシステムが確立されている。
- (4) 第2火薬庫はSRB-A組立棟の近くにあり、SRB-A組立棟との間でのSRB-Aを移動する場合、一般に公開している構内道路を通ることなく最短距離で短時間で移動することが出来るため、より安全性が向上する。

上記の点から、現在のSRB-Aの貯蔵施設として高さ制限の特則承認の認可を受け、SRB-A1本の貯蔵を許可いただいている第2火薬庫を活用することが最適と考えられます。

そのため、今回さらに特則承認申請を行ない、下表のように第2火薬庫にSRB-Aを最大3本貯蔵できるよう、最大貯蔵量を200トン(火薬換算)とさせて頂きたいと考えています。

	現行	今回申請
第2火薬庫	火工品 80トン (SRB-A 1本[66トン])	火工品 200トン (SRB-A 3本[198トン])

なお、第2火薬庫はSRB-Aの移動距離が短い安全性がありますので、定常保管本数は第3、第4火薬庫と同等の2本とし、打上げ延期などの緊急避難的貯蔵時に最大で3本貯蔵とさせて頂きたいと考えています。

3本貯蔵時のSRB-Aの配置を図-7に示します。

3本貯蔵時はSRB-A以外の火工品は貯蔵せずに等間隔で並べる形とし、3m程度の距離をおいて保管します。

また、1本～2本貯蔵時には図-8に示しますように、SRB-A主モータの他に点火モータ類を納めたコンテナを貯蔵したいと考えています。

固体ロケット組立棟から火薬庫へ戻す場合のSRB-Aは図-9に示す形態で、一部に火工品は取り付けられていますが、点火用デトネータは取り付けられていないこと、ならびに隔壁型起爆管(TBI)を取り外すことで、SRB-Aモータに点火できない状態とし、安全を確保した上で貯蔵します。

以上①、②のデータから、貯蔵するSRB-A推進薬も、爆轟する危険は非常に小さいと言えます。

(2) 硬化した推進薬の安定性

コンポジット推進薬は、熱的に安定な樹脂（バインダ）と硬化剤を混ぜて反応させたもので、硬化した推進薬は熱的には非常に安定です。また、AP系コンポジット推進薬の[REDACTED]で容易には発火しません。

火薬庫内においては局所的に加熱されることはなく、安全に貯蔵することができます。

(3) 想定されるリスクに対する安全性

①落下のリスク

SRB-Aを貯蔵中に保管台車から落下させた場合、火薬量は約66トン、台車高さが約2mですので床面に衝突する速度は約6m/s、入射するエネルギーは 1.3×10^6 J（単位質量当たりのエネルギー約20J/kg）となります。これは、前述に示したエネルギーより小さく、推進薬が爆轟する危険性は非常に小さいと言えます。

②火災のリスク

火災によって外部から加熱された場合に想定されるハザードとして、以下の事象が考えられます。

(a) 固体推進薬の爆轟

(b) SRB-A内孔に点火し、ノズルから燃焼ガスを排出することによる飛び出し。

(a)については、SRB推進薬の安全性に関する評価実験からSRB-A推進薬は燃焼することはあっても爆轟に至る可能性は非常に小さいと考えられます。

(b)については、以下のように類推しました。

SRB-Aは、作動時の燃焼室となる内孔から外部に熱が伝わりにくい構造となっており、作動時のモータケース強度の低下を防止しています。（図-10参照）

それゆえにケース外部から加熱された場合でも内孔へ熱が伝わりにくいと言えます。

モータケースはCFRP製であり、外部から加熱されると、樹脂が溶けて圧力容器としての強度を保てなくなります。その後、推進薬外周部から発火しますが、CFRPケースが裂けると考えられ、圧力が保持できなくなります。

以上の点から、外部から加熱された場合、外周から発火しケースが裂けて燃焼に至

ると考えられますが、内孔に点火してノズルから燃焼ガスを排出することによりロケットモータが飛び出す恐れは非常に小さいと考えられます。

参考に弾薬の安全性評価試験方法 MIL-STD-2105B「非原子力爆弾のハザード評価試験方法」で外部火災を想定した「ファーストクックオフ試験」の方法、およびHTPB系コンポジット推進薬を用いたロケットモータに対してファーストクックオフ試験を実施した文献の抜粋を添付資料-2に示します。

(4) 異常を想定した場合の保安確保に関する検討

想定外の事象により推進薬が爆轟または燃焼した場合、保安の確保ができるかを検討しました。

①爆轟の可能性について

これまでの実験結果ではSRB-A推進薬は爆轟していませんし、爆轟に至る危険性は非常に小さいと言えます。また、爆燃する恐れも小さく、火薬庫保管中に想定される事象に対してTNTの爆発エネルギーに対する換算率は1%程度（添付資料3参照）と考えられます。

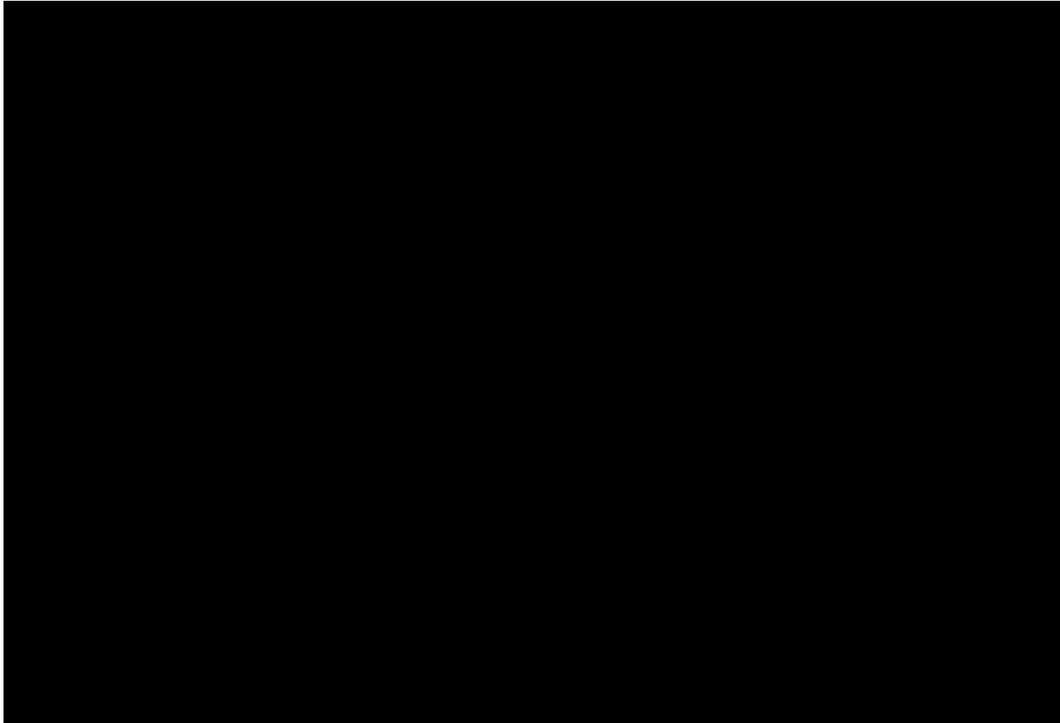
万一、爆轟又は爆燃したとしても所定の保安距離を有している為、安全を確保できると考えられます。

②燃焼について

推進薬が燃焼した場合、図-11にありますように、火薬庫周囲近辺の樹木等が燃える可能性はありますが、周辺の保安物件に対しては十分な距離を有している為、安全を確保できると考えられます。

5. 2 大型ロケット組立棟から火薬庫へ戻す場合のSRB-Aの安全性

基幹ロケットに組み付けられたSRB-Aは、打ち上げ時下図(a)の順で火工品が結線され、点火用デトネータ(SAD)の起爆で発生した爆轟を伝播することで点火されるシステムとなっています。



後に
接続されます。従って組立棟から組立済SRB-A単体を火薬庫へ戻す場合には、上図(b)のように起爆源となる点火用デトネータは無く、点火できない状態で安全です。

この組立済SRB-Aを組立棟から火薬庫へ戻す場合のリスクとして、運搬台車からの落下が想定されます。

(1) 想定されるリスクに対する安全性

① 落下のリスク

リスク評価ためには、火工品装着済みの状態での落下試験が必要ですが、SRB-Aは推進薬量が66トンあり、SRB-A推進薬単体、ならびに火工品を組み合わせた状態で落下試験を行うことは困難です。この点から火薬庫へ戻す場合の構造、および組付けられる火工品の安全性から、リスクの度合いを類推しました。

組立済SRB-Aは以下の状況にあります。

- (a) 点火用デトネータがなく、また隔壁型起爆管(TBI)も外して貯蔵するため、SRB-Aのイグナイタに点火することができない。

(b) S R B - A に用いられる火工品で爆薬を装填したものは下記 3 点である。

- (i) 隔壁型起爆管 (T B I)
- (ii) 密封型導爆線 (C D F)
- (iii) V 型成形爆破線 (L S C)

これらは、それぞれ ████████ 落下試験において発火しないことが確認されています。

S R B - A の保管時は台車高さが約 2m であり、落下した場合の各火工品に付与される衝撃は落下試験に比べて小さいと言えます。

添付資料 4 ~ 6 に T B I , C D F , L S C の構造と落下試験方法と結果概要を示します。

(c) 上記火工品の内、(i) は S R B - A から外して貯蔵すること、(ii)、(iii) は配線カバーに覆われていることで、いずれも外面に露出しておらず、落下した場合でも火工品に直接衝撃が加わらない構造となっています。

以上の点から、落下した場合に S R B - A に点火する可能性は小さいと言えます。

② 火災のリスク

S R B - A の点火には火工品が爆轟を伝播することが必要ですが、T B I は取り外し、代わりに保護栓 (挿入部が T B I と同じ外形寸法、同じ O-リングを装着した物で、T B I と同様の気密性を保持できる) を装着するため、火災によって外部から加熱された場合に点火することはありません。(図 - 1 2 参照)

故に、組立済 S R B - A を組立棟から火薬庫へ戻す場合に、S R B - A が点火されるリスクは小さく、安全に貯蔵することが出来ます。

5. 3 火薬庫土堤省略方向への安全性について

当該第2火薬庫は前述のとおり、火薬庫設置当時の特認にて火薬庫の北東側（海側）の土堤を省略することの許可をいただいております。第3項に示すとおり、火薬庫として必要な法定保安距離については満たしておりますが、火薬庫北東側への影響を再評価し、以下の通り安全性に問題のないことを確認しております。

(1) 北東側陸上への影響

土堤が省略されている北東側陸上には第2種保安物件に該当する、広田集落（村落の家屋）が位置しております。これに対し、土堤を省略した二級火薬庫に必要な保安距離（火薬類取締法施行規則第23条第6項）の考えに準拠し安全性の評価を行いました。以下のとおり、必要とされる保安距離に対し十分な実距離を有しているため安全性に問題はありません。

保安物件		実距離(m)	法定保安距離 (施行規則第23条第6項準用)	
			距離(m)	計算式(爆薬換算)
第2種	広田地区 (村落の家屋)	2000	1303	$2 \times 480 \times \sqrt[3]{100} / \sqrt[3]{40}$

(2) 北東側海域への影響

土堤が省略されている北東側海域には保安物件に該当する定期航路の有無について再度調査を行いました。種子島周辺を航行する定期航路はいずれも種子島西側の海域を航行するものであり、土堤が省略されている北東側海域を航行するものはなく、安全上の問題はありません。

上記(1)および(2)の詳細な評価結果につきましては添付資料-7に示します。

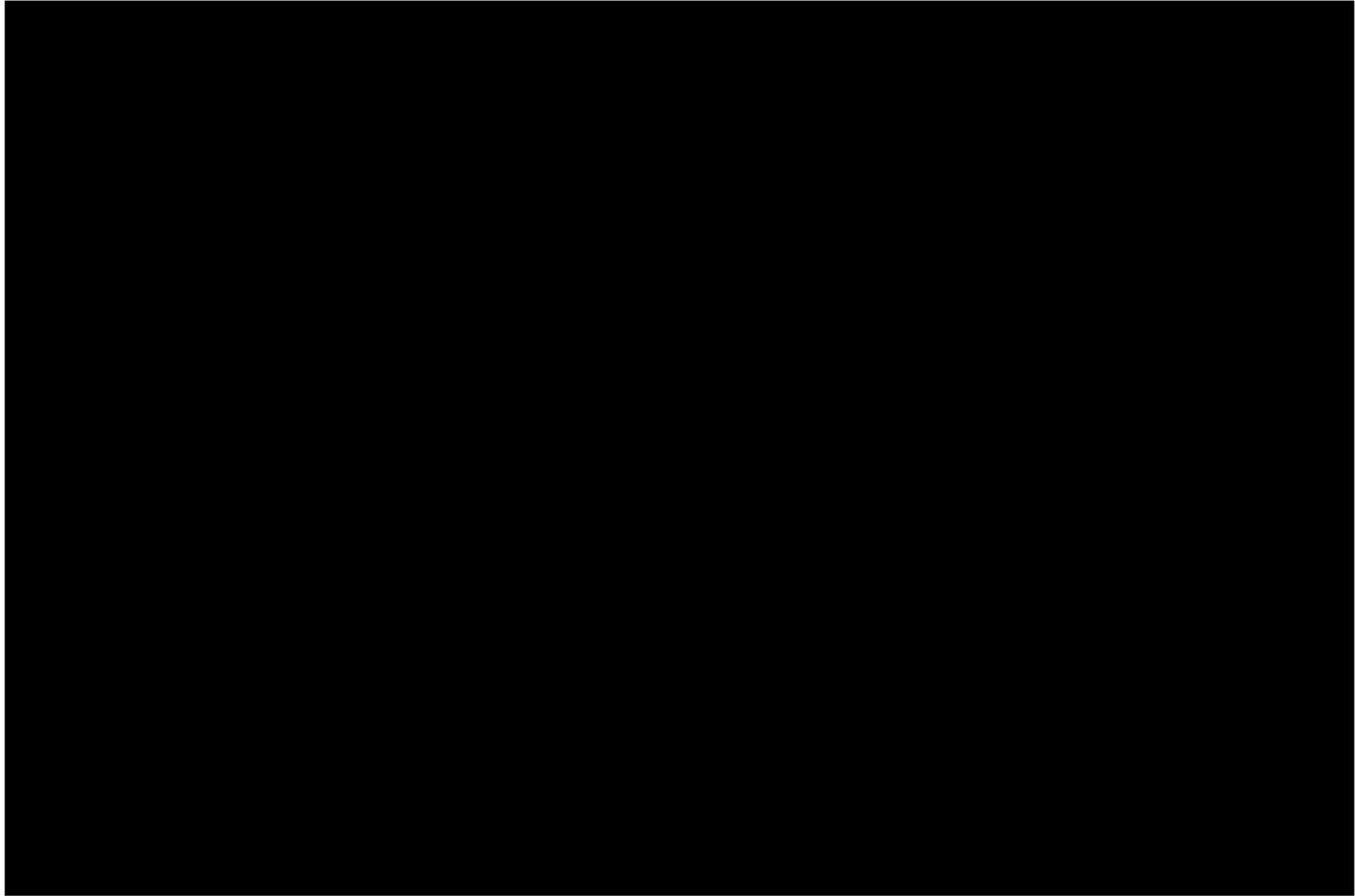
5. 4 緊急時の初動体制について

万一、火薬庫を含めた設備において災害（火災、人身事故）等が発生した場合には種子島宇宙センターで定める緊急連絡体制表に従い、関係各所への連絡、初期消火、避難誘導および救護を実施いたします。図-13に上記の緊急連絡体制表（平成26年7月1日改訂）の火薬貯蔵に係る緊急連絡体制部分を抜粋したフロー図を示します。

なお、種子島宇宙センターでは緊急連絡体制表に基づく年間2回の防災訓練を実施しております。



图-1 第2火薬庫配置图



図一 2 第 2 火薬庫 立面図、平面図、外観写真

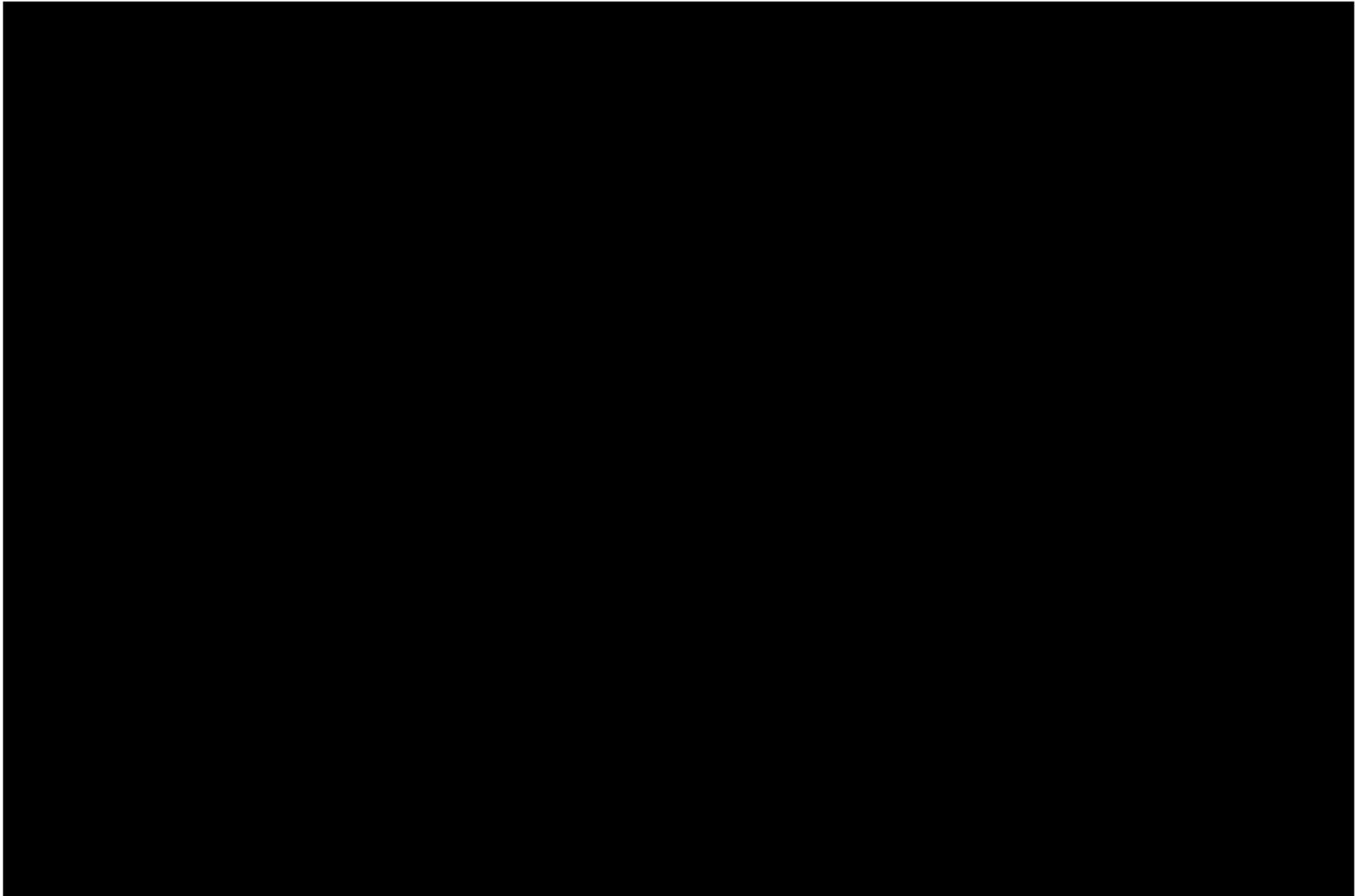


図-3(1/2) 第2火薬庫と保安物件との保安距離図(全体図)

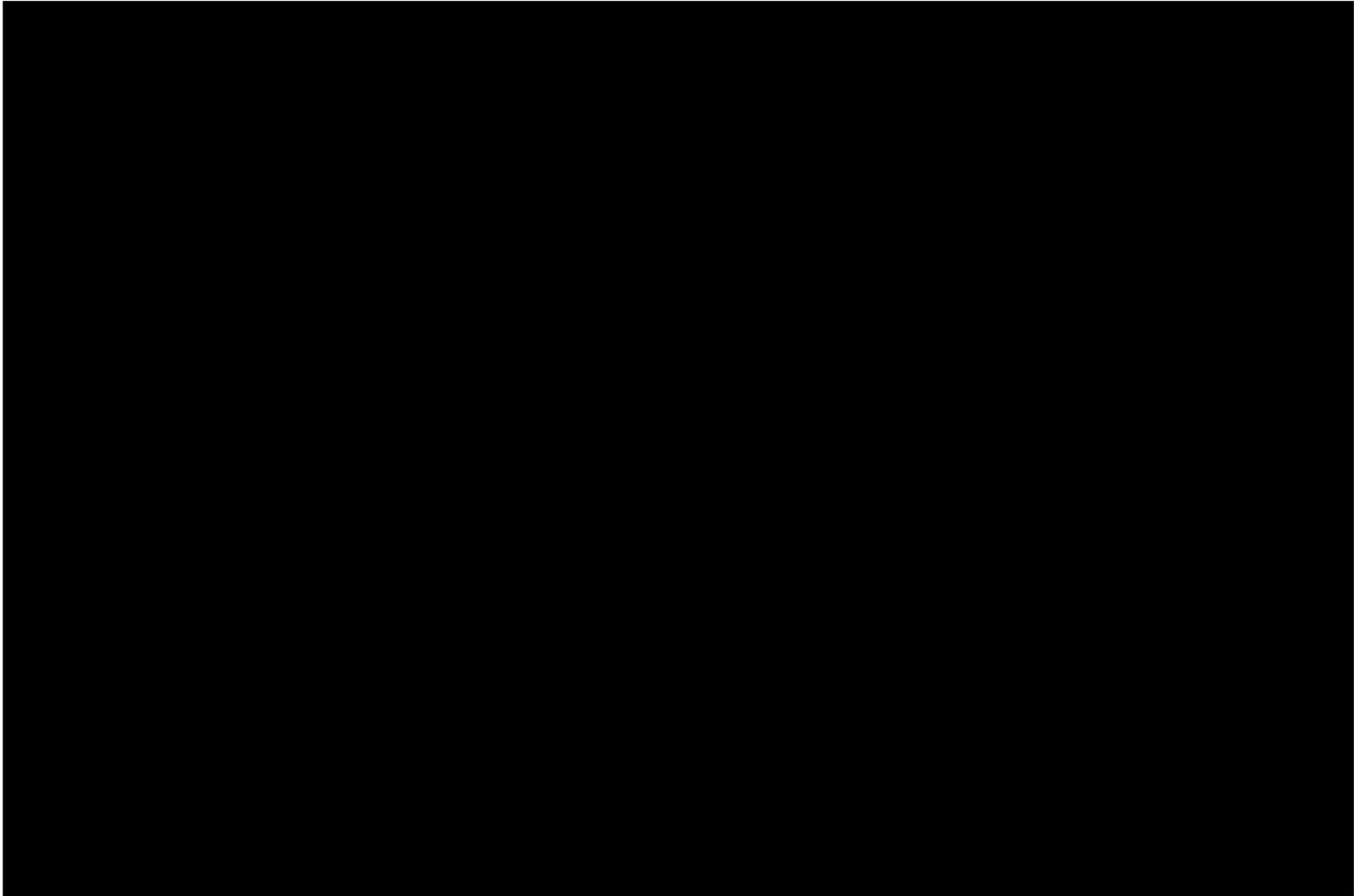


図-3 (2/2) 第2火薬庫と保安物件との保安距離図 (拡大図)

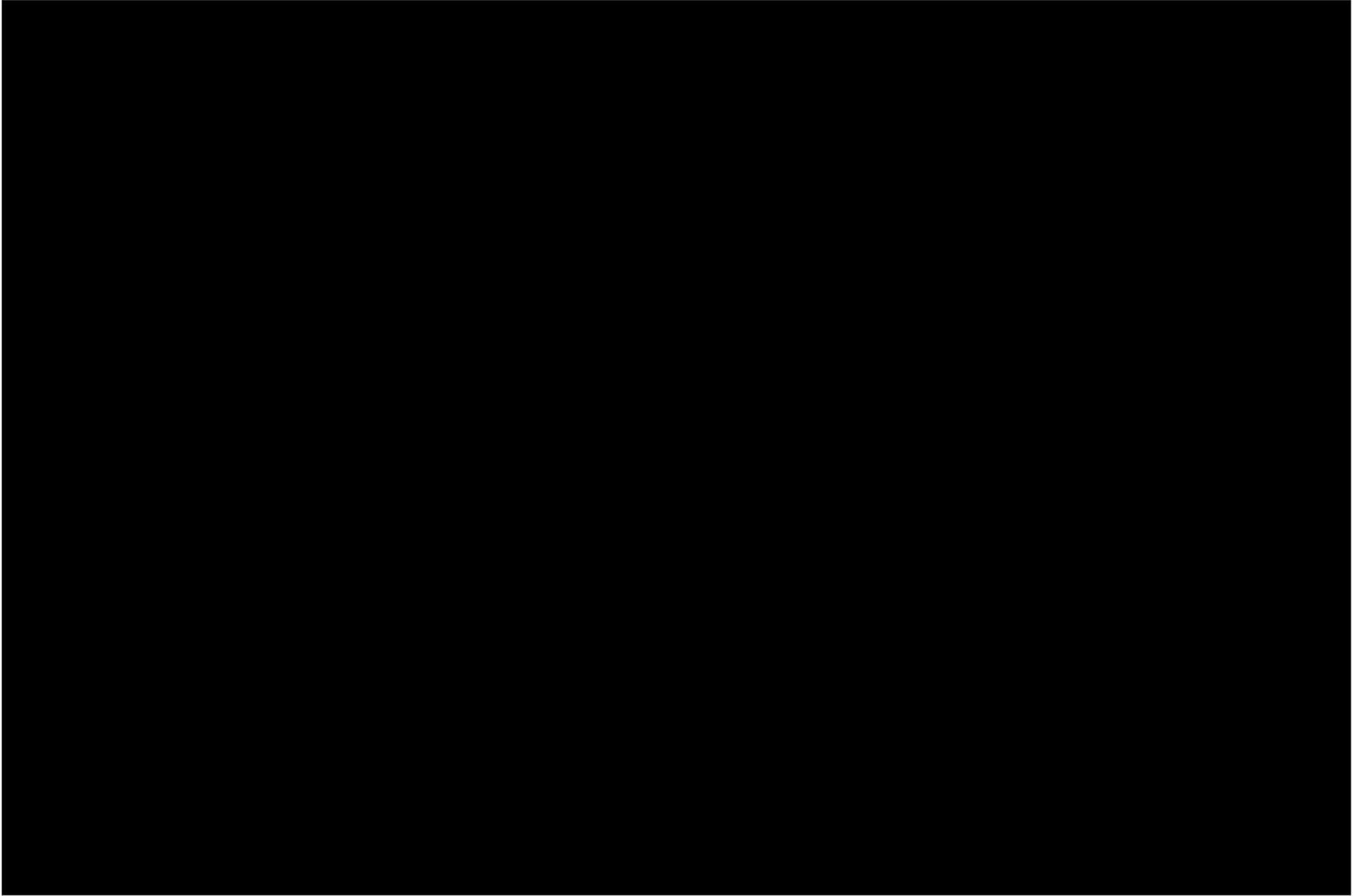


図-4 MHIによる今後の打上計画

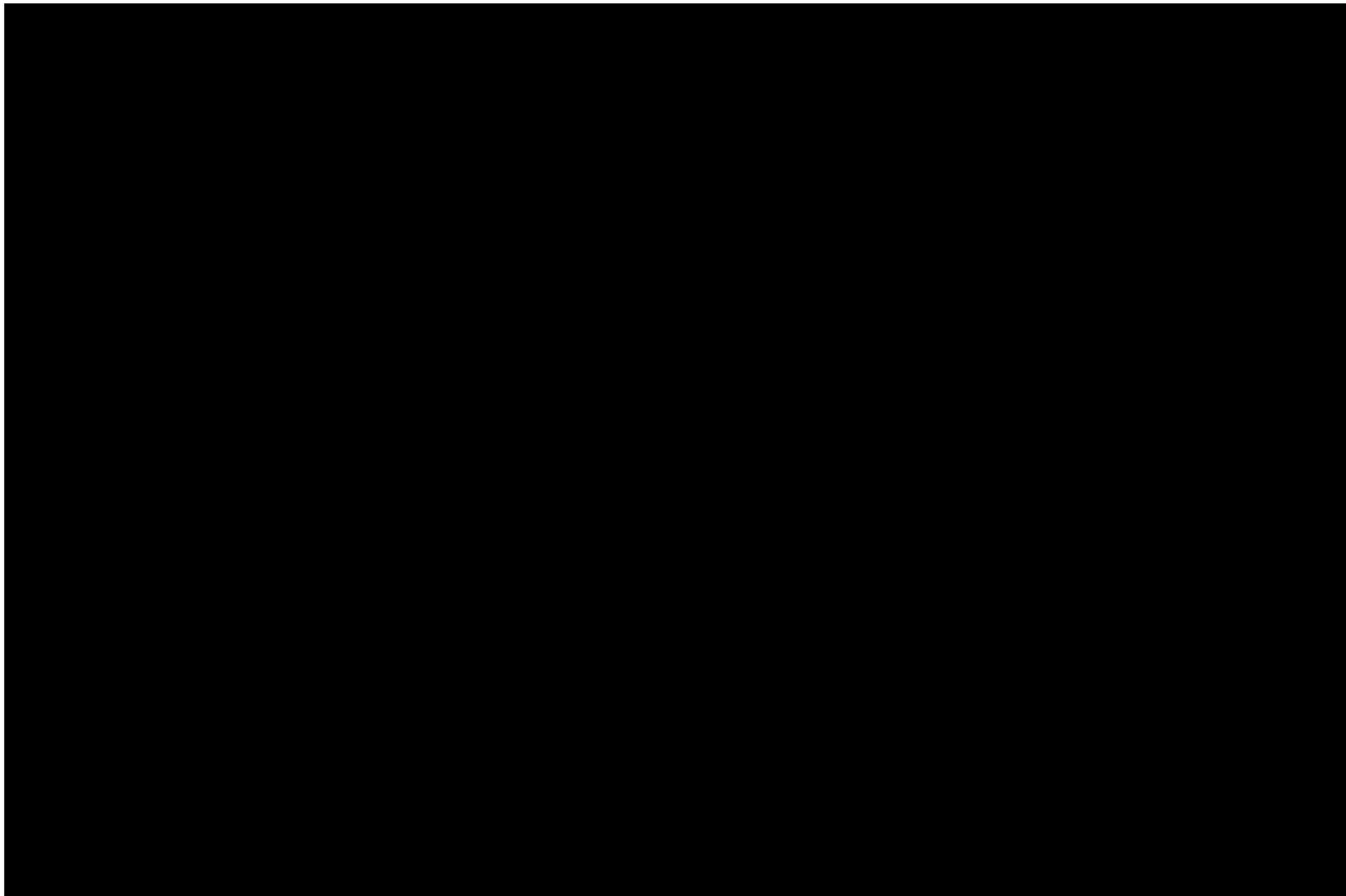


図-5 SRB-A の製造から打上げまでの流れ

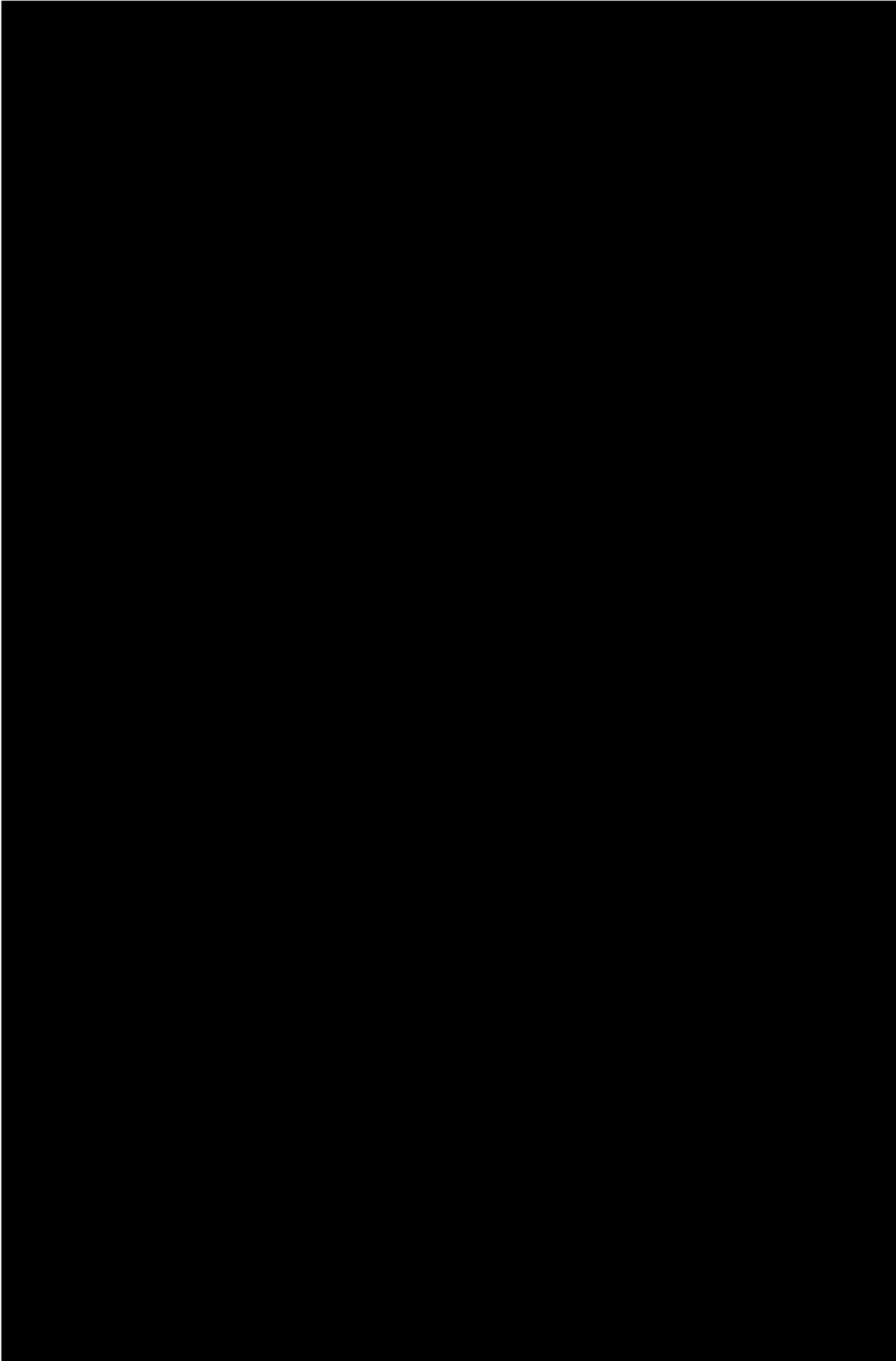


図-6 関連する施設の配置図



図-7 SRB-A3本保管時の配置図

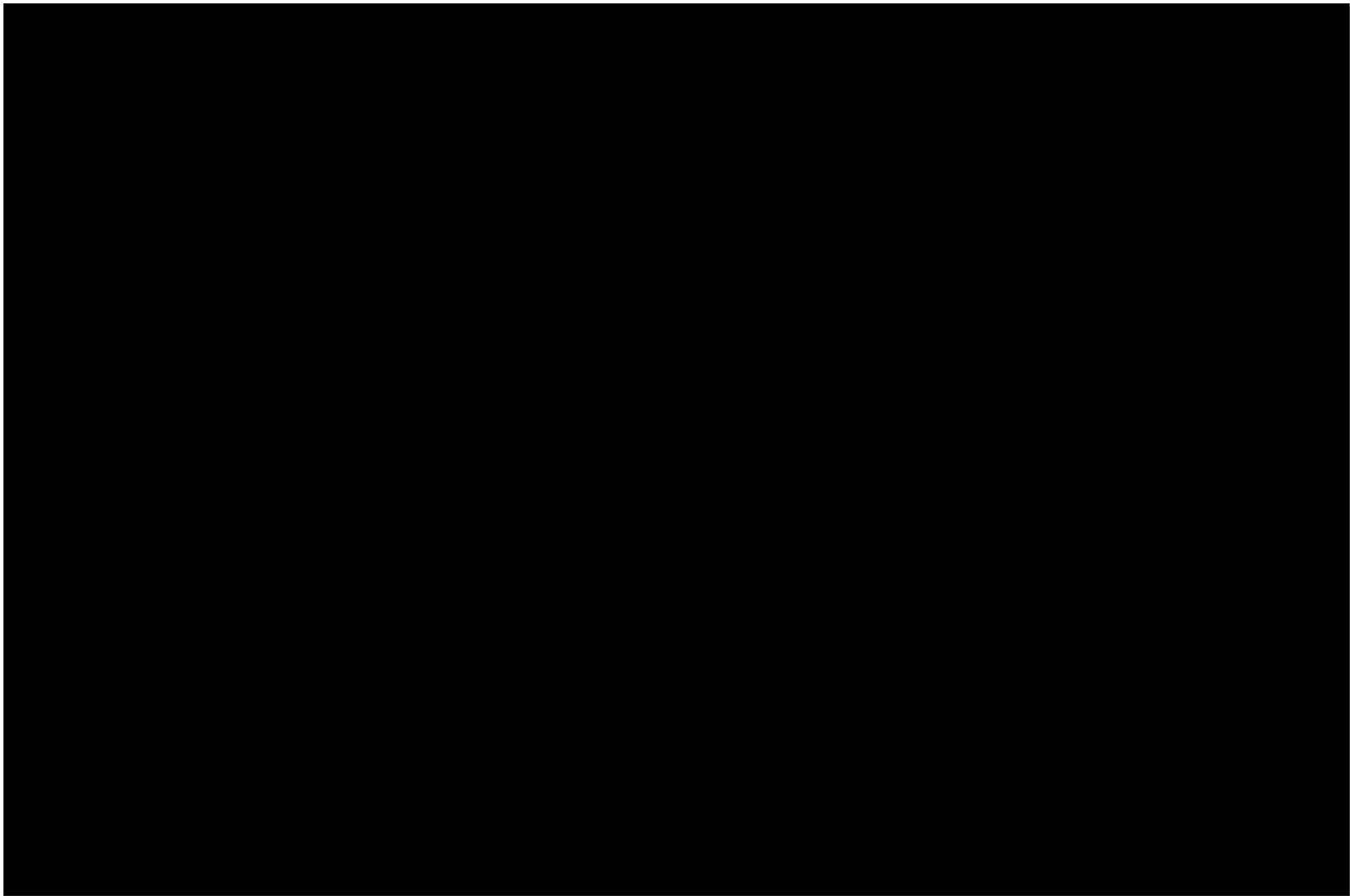


図-8 SRB-A1~2本保管時の配置図

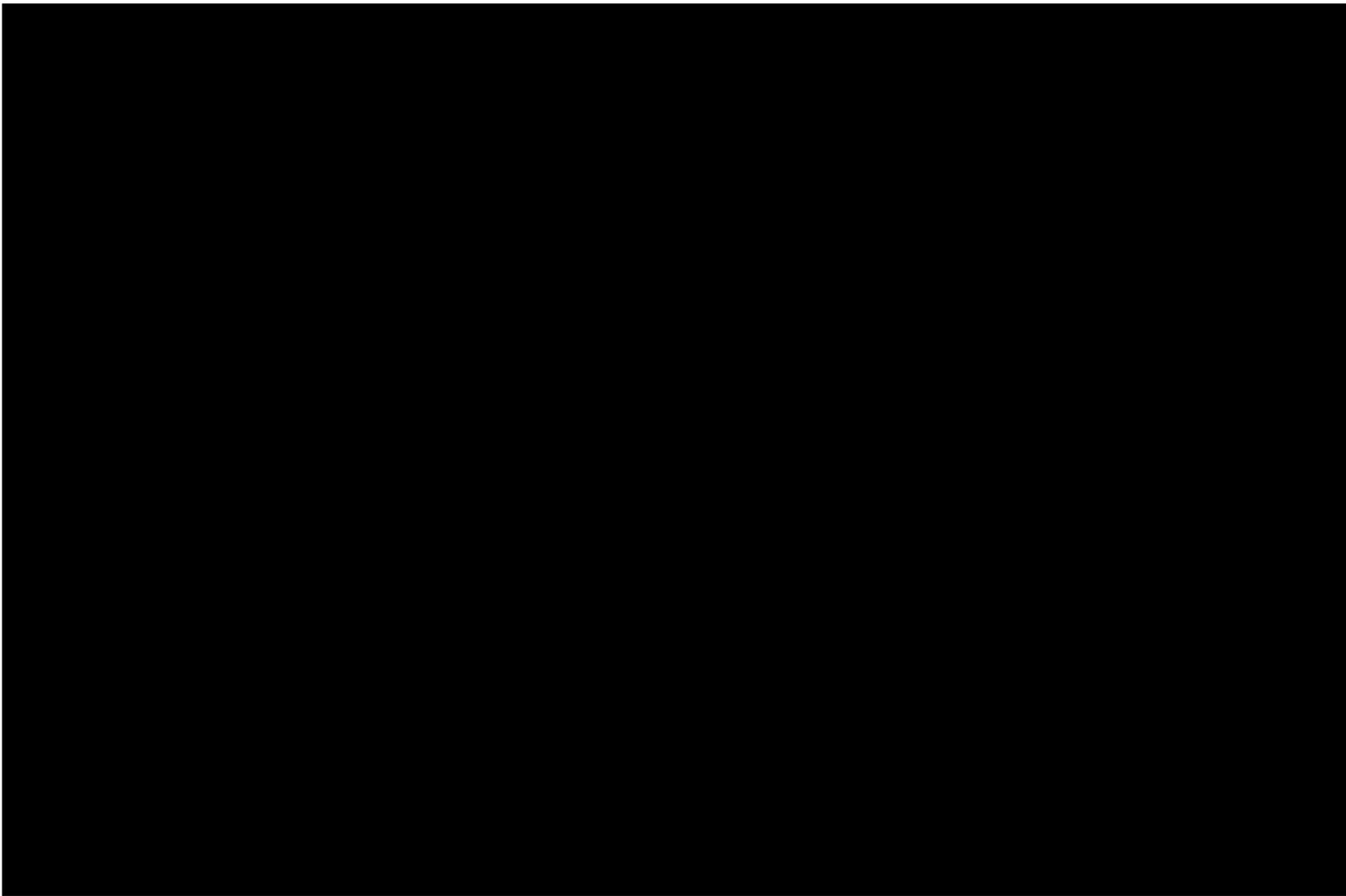


図-9 SRB-A火薬庫返送時の形態



図-10 外部火災に対する影響の検討結果

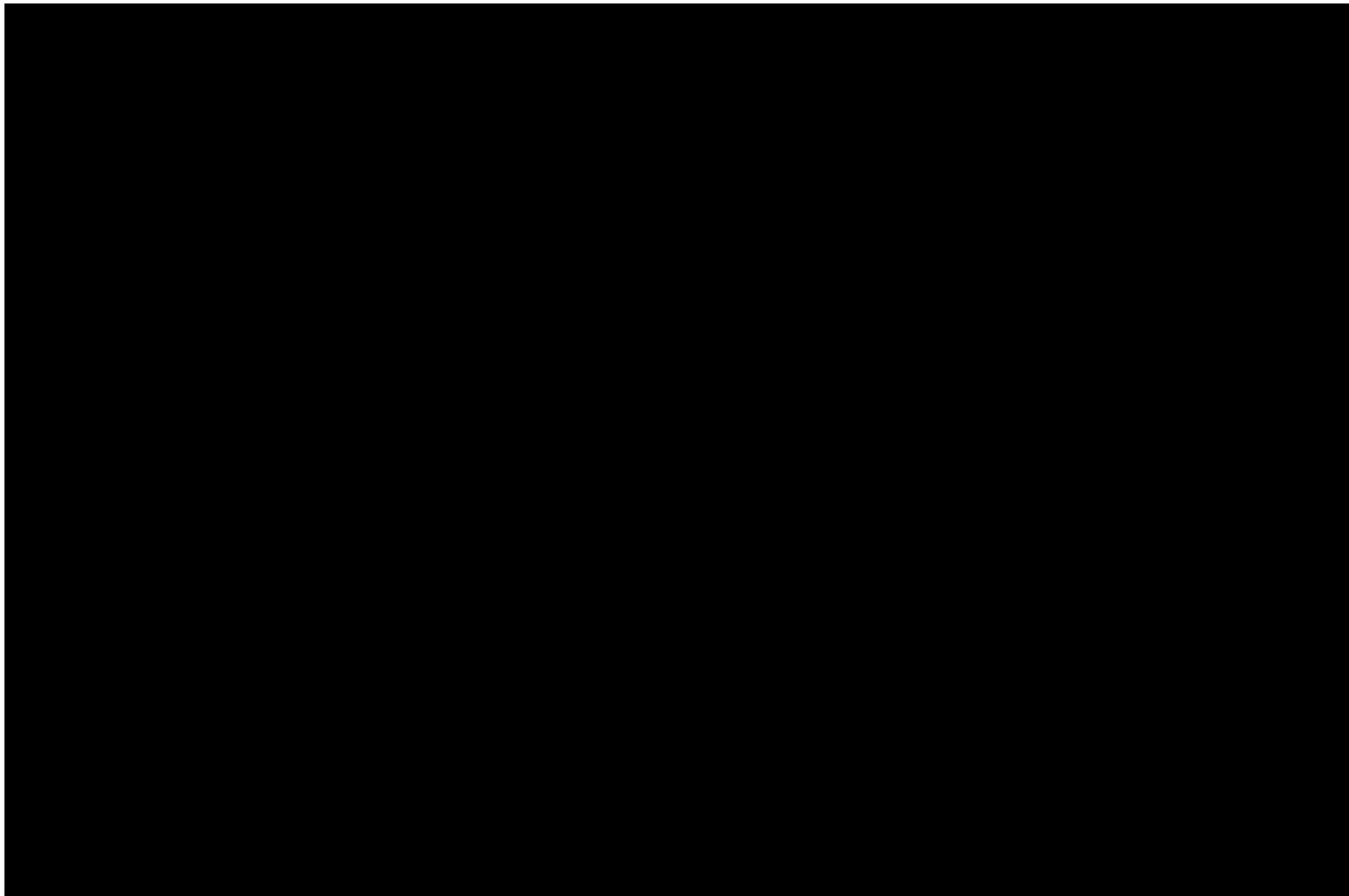
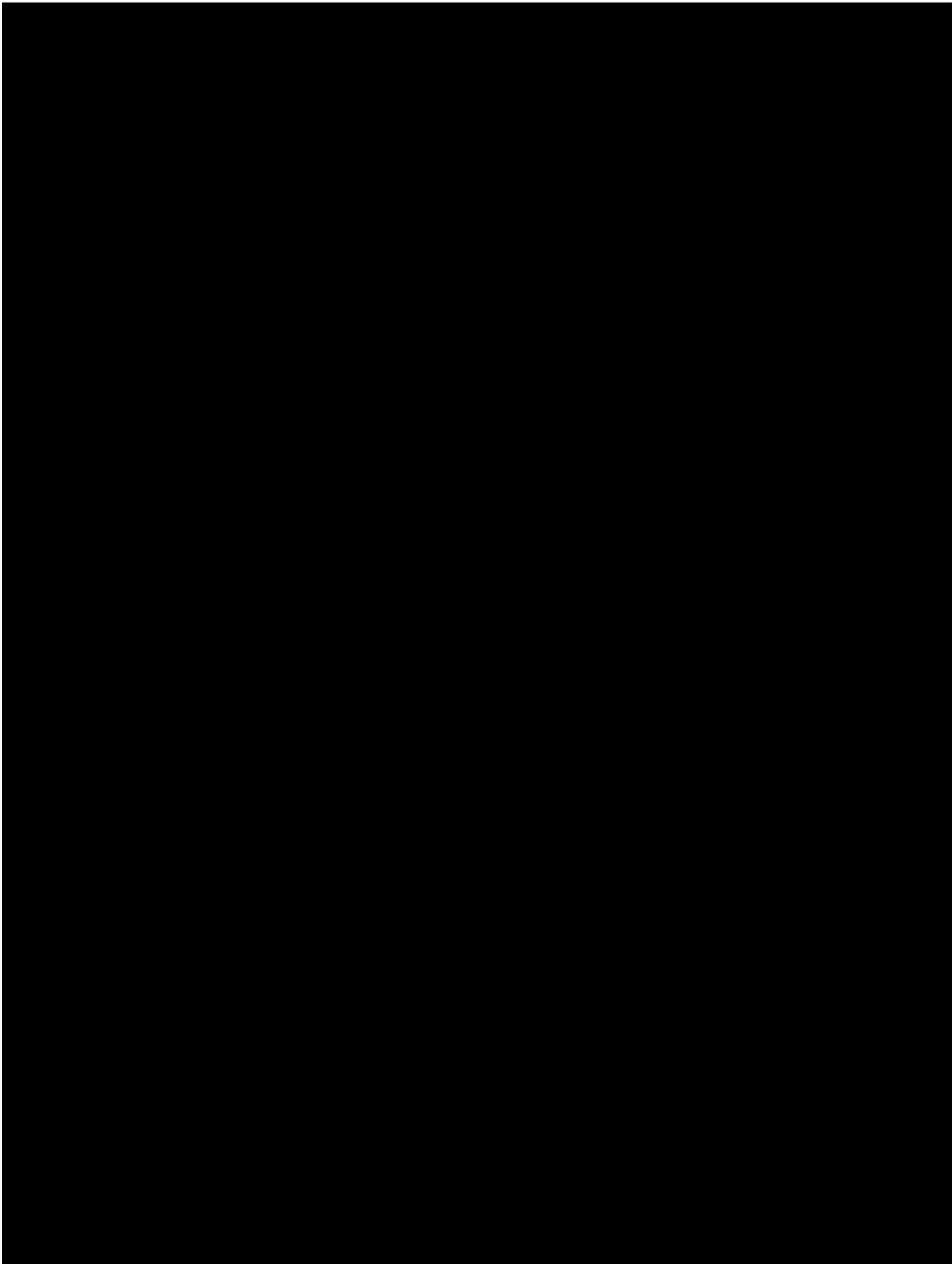


図-11 第2火薬庫周辺の状況



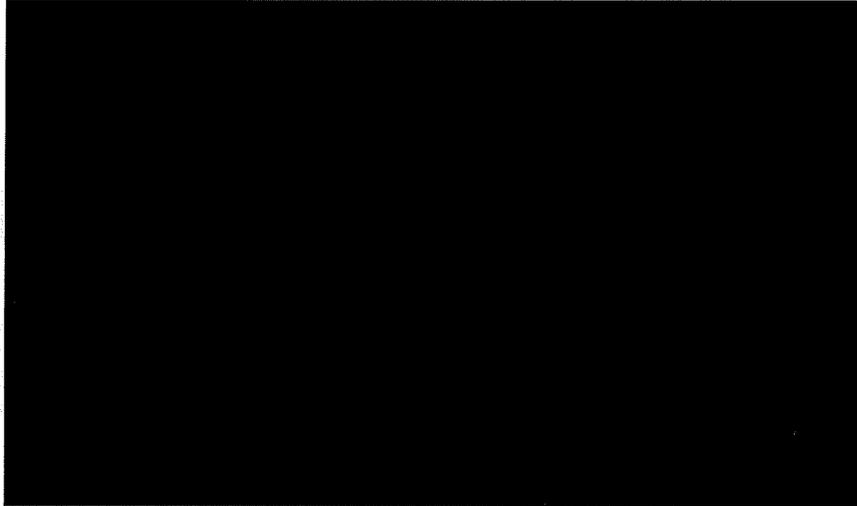
図-12 TBI保護栓取り付け状況



図－13 緊急時の連絡体制

外部火災に対するハザードの評価

● モーターケース材質によるハザードの差



● FCOとSCOの試験方法

MIL-STD-2105B「非原子力爆弾のハザード評価試験」(1994年1月12日)抜粋

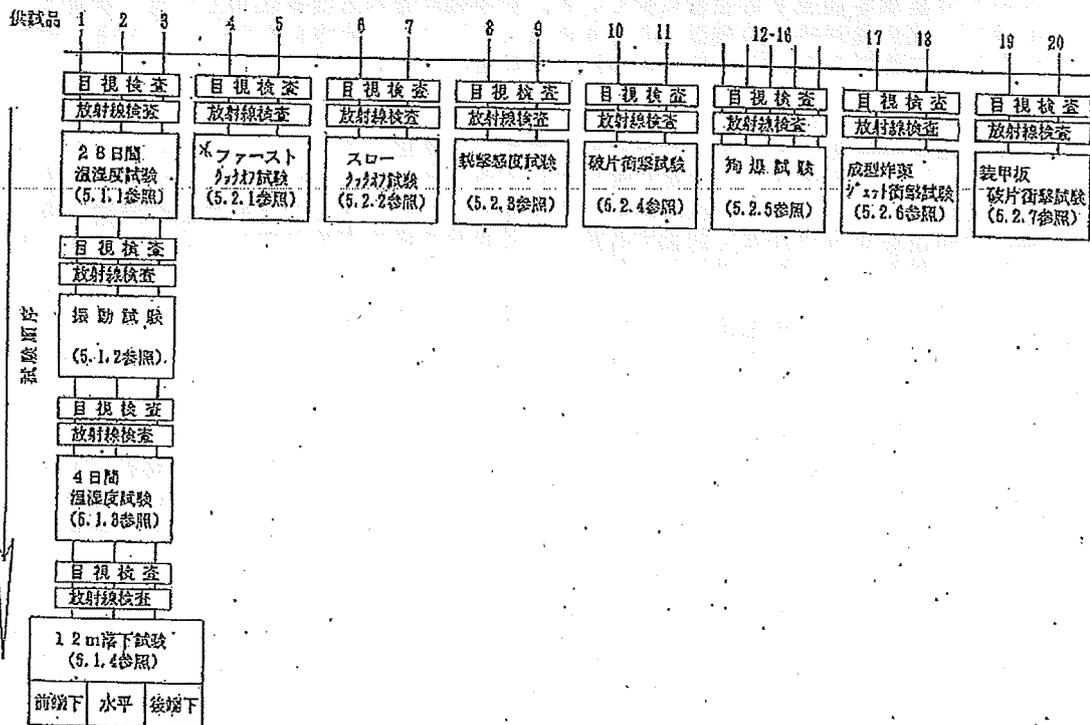


図1. 「代表的」供試品数と試験順序

5.2.1 ファーストクックオフ試験

5.2.1.1 試験の説明

ファーストクックオフ試験は、液体燃料の炎で供試品を包み、時間の関数として供試品の反応を記録することである。

5.2.1.2 試験手順

5.2.1.2.1 燃料の容器

燃料の容器は、試験の間中、炎によって供試品が十分に包まれるような大きさの物を使用すること。容器の寸法は、供試品の寸法や形、燃料の種類によって決定されるものとする。

5.2.1.2.2 試験形態

供試品の試験形態は、T H Aによって決められる。供試品は、推進反応によって発射されないように拘束されていること。拘束または支持方法は、供試品の加熱に干渉しないようにする。最小限、2個の供試品を別々に試験すること。実行が可能な限り、試験は、I Mと危険に関する要求を満足するように設定すること。

5.2.1.2.3 供試品位置

供試品は、その主軸を水平に、または、供試品のT H Aによって定められた最も自然な姿勢で保持される。供試品表面と燃料との間隔を十分とり、完全燃焼させること。そして、供試品を時々炎の中から引き出すようなことの無いようにする。また、供試品が炎の中で比較的溫度の低い、燃料の濃い部分に位置されないように5.2.1.2.6の溫度要求を満足する位置に置くこと。空中発射される兵器に関しては、供試品の中心線は、液体燃料容器の表面上9.14 mm (3/8 in) 上方になるようにする。供試品が落下して燃料の中に入らないようにすること。

5.2.1.2.4 燃料

十分な量の木材、または、炭化水素系燃料、例えば、J P - 4、J P - 5、J P - 8、J E T A - 1を使用し、火炎に包まれたとき供試品が反応するようにする。代替燃料、例えば、プロパンまたは天然ガスを使用する場合、上記炭化水素系燃料の、熱上昇率、供試品をまんべんなく加熱する能力、その他の能力が同じであるようにする。燃料の量は、供試品の寸法や供試品の特徴により決定されるものとする。

5.2.1.2.5 火炎溫度上昇時間

5.2.1.2.1.7に規定された2個の熱電対により火炎の溫度が540°C (1000°F) に到達する時間を記録する。

5.2.1.2.6 平均火炎溫度

焼けている弾薬の影響無しに、5.2.1.2.7に規定された正式な熱電対による計測で、平均火炎溫度は少なくとも870°C (1600°F) であること。この溫度は、火炎の溫度が540°C (1000°F) に達してから弾薬の反応が完了するまでの溫度の平均値によって決定される。

5.2.1.2.7 熱電対

供試品には、時定数2.0秒、または、それ以下の4個の熱電対を弾薬の表皮から102~203 mm (4~8 in) の所に置く。熱電対は、弾薬のセンターラインを含む水平面上で、弾薬の端と側面に置く。熱電対の出力は少なくとも1秒毎に計測し、試験が終了するまで継続する。

5.2.1.3 計測

時間の関数としての火炎の溫度計測が必要である。もし、試験にその項目が特定されている場合には、弾薬内部の溫度計測が必要である。もし、内部にセンサを使用する場合は、それ等のセンサが、試験を無効にしたり、供試品を破壊したりしないようにすること。推力を決定するためには、推進ユニットの内圧 (bore pressure) を計測する。

8.1.1 反応タイプ

- a. **タイプ I (爆轟反応)**
最も激しいタイプの爆発事象。超音速の分解反応が、エネルギー物質を通して広まり、例えば空気や水といった周囲の媒体中に強烈な衝撃波を、また金属ケースに急激な塑性変形をおこし、続いて極度の破砕にいたる。全てのエネルギー物質が消費される。地表面上または地面近傍の弾薬による地表の大きな穴や、近接した金属板の穴、塑性変形、破砕や、近くの構造物への爆風圧による損傷といった影響を生じる。
- b. **タイプ II (部分爆轟反応)**
2番目に激しいタイプの爆発事象。エネルギー物質の全てではなく一部が、爆轟反応を起こす。強烈な衝撃波が生じ、ケースの一部が小さな破片に壊れる。地面に穴があき、近接した金属板が爆轟と同じように損傷を受けうるし、近くの構造物に爆風圧による損傷がある。部分爆轟はまた、激しい圧力破壊（脆性破壊）のような大きなケース破片を生じる。損傷の程度は、完全な爆轟と比較すると、爆轟した物質の割合に対応する。
- c. **タイプ III (爆発反応)**
3番目に激しいタイプの爆発事象。閉じ込められたエネルギー物質の点火や急速燃焼が、局所の圧力を高めて、閉じ込めている構造物が激しい圧力破壊にいたる。金属ケースは大きな破片に破砕され（脆性破壊）、しばしば遠くへ飛散する。未反応の、あるいは燃焼中のエネルギー物質も飛び散る。火事や煙の危険がある。大気中に衝撃波が発生し、近くの構造物に損傷を引き起こしうる。爆風及び高速度の破片が、地面に小さな穴をあけたり、近接した金属板に損傷（破損、裂けめ、えぐれ）を起こしうる。爆風圧力は爆轟のものよりも低い。
- d. **タイプ IV (爆燃反応)**
4番目に激しいタイプの爆発事象。閉じ込められたエネルギー物質の点火や燃焼により、ケース強度が低ければ激しくなく圧力が放出されたり、あるいはケース蓋（放出孔／信管孔他）からの排気にある。ケースは、破裂するかもしれないが、破片にはならないし、蓋が放出されるかもしれない。また、未燃あるいは燃焼中のエネルギー物質が飛び散り、火事を広げるかもしれない。推進により、固定されていない供試品が射出され、さらなる危険を引き起こすかもしれない。爆風や、問題となるような破片による周囲への損傷はないが、燃焼中のエネルギー物質からの熱と煙による損傷はある。
- e. **タイプ V (燃焼反応) ← SRB-A (類推)**
最も激しくないタイプの爆発事象。エネルギー物質が点火したり燃えたりするが、推進はない。ケースは、激しくない破裂をする程度に、開放されたり、溶けたり、弱くなり、燃焼ガスをおだやかに放出する。微細破片の大部分は、火事の範囲内にとどまる。微細破片が人に対して致命的な負傷を与えたり、1.5 m (4.9 ft) を越えて飛ぶような危険破片であることは考えられない。

5.2.2 スロークックオフ試験 (参考)

5.2.2.1 試験の説明

スロークックオフ試験 (SCO) は、供試品が反応を起こすまで、まずゆっくりと温度をあげるか、または、試験計画に従う。この試験の適用、不適用はTHAによる。

5.2.2.2 試験手順

供試品は試験開始前8時間にわたって、弾薬の環境上限温度にして置く。そして温度を1時間に3.3℃(6F)の割合でゆっくりと直線的に上昇させ、反応がおきるまで上昇させる。もしもTHAによって確かな脅威とみなされた場合には、もっと早い速度で温度を上昇させても良い。温度と試験時間経過を観察し、連続して計測する。最小限2個の供試品を別々に試験する。

5.2.2.2.1 試験装置

試験器材は、温度運用範囲内で1時間に3.3℃(6F)または、決められた高い比率の速度で、供試品が炉内に置かれた状態で炉の空気温度を上昇させ、熱環境を制限できるものとする。試験器材の設計はホットスポットを最少にし、供試品の熱環境を循環、または、他の方法で一定にする。炉部は渗出物が加熱エレメントに接触して発生するような二次的反応を最少にする設計になっていること。また、試験による炉内の空気圧の増加を軽減する手段を備えていること。炉の内部の壁と供試品の外表面の最小の間隙は203mm(8in)とすること。炉の材質、壁の厚さ、配置、その他は供試品の反応に対する抑制を最少にするような設計になっていること。第2図は上から見た熱電対の位置をふくむ典型的な炉の図を示す。

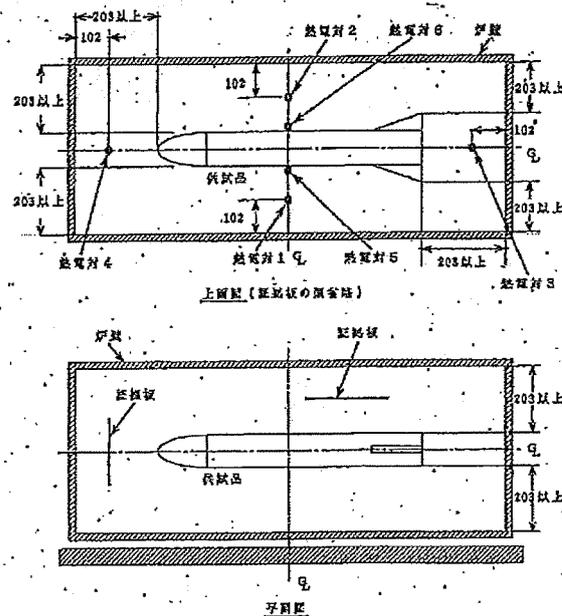


図2. 「代表的」スロークックオフ炉

5.2.2.3 計測

5.2.2.3.1 温度記録

永久に記録できるような温度記録器を温度の記録に使用すること。最少限4個の炉内空気温度測定用の熱電対を設置する。これらの熱電対は図2(熱電対1~4)に示す位置に設定する。図2中の第1または第2熱電対は温度制御用にして良い。図2に示してあるように、最少限2個の供試品反応温度熱電対を供試品の外面の図示の位置に設置する(熱電対5と6)。熱電対の出力は少なくとも1分毎にサンプリングする。

● クックオフ試験に関する文献抜粋

出典: PROPELLANT DEVELOPMENT INSENSITIVE MUNITIONS: IM TESTING

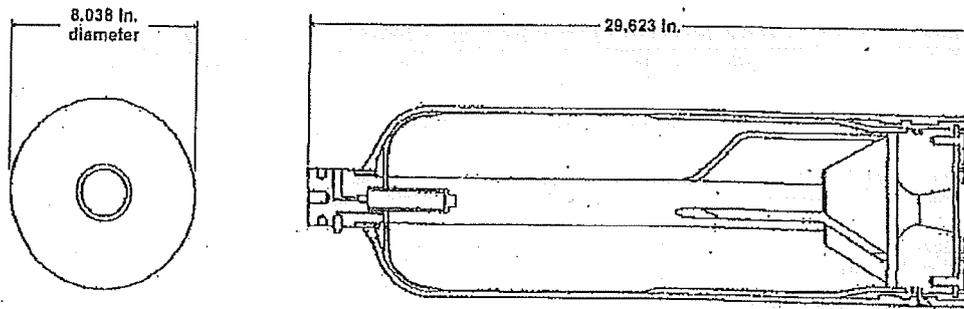


FIGURE 7. NAWCWD Standard Graphite Case Motor

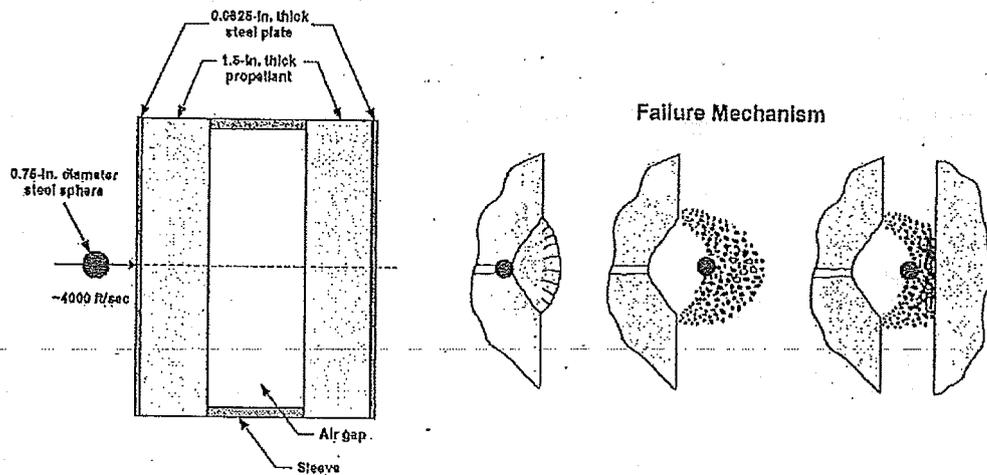


FIGURE 8. NAWCWD BVR Test

TABLE VII. Summary of IM Test Results

Propellant	IM Tests			
	BI*	FI*	FCO*	SCO*
HTPB UTP-33,000	No overpressure, no lethal debris outside test area, moderate reaction PASS	No overpressure, no lethal debris outside test area, moderate reaction PASS	No overpressure, no lethal debris outside test area, burning PASS	2.8 psi overpressure, lethal debris outside test area, 400°F cook off, partial detonation FAIL
Polyether/polyester UTP-32,070	Burn only, moderate initial reaction with no overpressure	Burn only, no overpressure, no lethal debris outside	Burn only, no overpressure, no debris outside test area	Burn only no overpressure, no lethal debris outside

添付資料2 (6/6)

	PASS	test area, PASS	PASS	test area: 377°F cook-off PASS
*The pass/fail results were officially determined by the review board of NAWCWD China Lake, CA.				

The BVR tests on both propellants resulted in no detonations (as measured by the low overpressure recorded on the gauges), and in all cases there was unburned propellant — in some cases from both the front and rear plates.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Two propellants have been formulated, processed, and characterized. The HTPB propellant, UTP-33,000, and the polyester/polyether propellant, UTP-32,070, both exhibited the following properties:

1. Good processibility (flowed into the motors to produce void-free grains)
2. Good pot lives
3. Excellent ballistic performance
4. Very good mechanical properties
5. Good IM characteristics (SCO a fail, however, for the HTPB)

A downselect to the polyether/polyester propellant has been made and will be used in Phase II of the program. A CSD-designed and -manufactured 21-in. diameter motor will be used for IM testing of the downselected propellant.

ACKNOWLEDGMENT

Many helpful discussions were held regarding the program's direction with Mr. Al. Smith and Mr. Duane Blue of NAWCWD, China Lake. May Chan of NAWCWD also provided guidance on the propellant effort. Marvin Jones of CSD was the project engineer.

ACRONYMS

BI	bullet impact IM test
BVR	burn to violent reaction test
CSD	Chemical Systems Division
FCO	fast cookoff IM test
FI	fragment impact IM test
HTPB	hydroxy-terminated polybutadiene
IM	insensitive munitions
NAWCWD	Naval Air Warfare Center Weapons Division, China Lake, California
SCO	slow cookoff IM test

火薬庫土堤省略方向への安全性評価について

1. 概要

本資料は種子島宇宙センター第 2 火薬庫（地上式一級火薬庫）の火薬貯蔵量の増（火薬 200t 保管）に係る特則承認申請の申請明細書補足説明資料として、設置当初の特認により土堤が省略されている方向（以下、土手省略方向と称す。）への安全を保つための考え方について整理し、纏めたものである。

2. 経緯

平成 26 年 4 月、種子島宇宙センター第 2 火薬庫へ SRB-A3 本を保管するための貯蔵量の増に係る特則承認申請に関して、経済産業省担当者様へ申請内容の説明を行った。経済産業省担当者様より、第 2 火薬庫の放爆面方向（火薬庫北側）の土堤が火薬庫設置当初の特認により省略されていることを踏まえ、SRB-A3 本保管時の土堤省略方向への安全性について再度整理するようご指摘を頂いた。

上記を受け、土手省略方向の保安距離の評価および、定期航路の有無の調査など安全性の確認を行った。

3. 結論

土堤省略方向の陸地に位置する保安物件（第 2 種保安物件：広田集落）に対しておこなった、火薬取締法施行規則第 23 条第 6 項（二級火薬庫で土堤を設けない場合の保安距離）に準拠した評価より、必要保安距離 1303m に対して、実距離 2000m 以上を持つため安全性に対し問題はない（4 項参照）。また、土堤省略方向の海域については保安物件となる定期航路がなく、海側への安全も確保されていることを再確認した。（5 項参照）。

以上のことから、SRB-A3 本保管について土堤省略方向への安全上の問題はないと評価する。

4. 土手省略方向陸上への安全性評価

第 2 火薬庫の土堤省略方向に位置する第 2 種保安物件（村落の家屋）への影響を評定とし、第 2 火薬庫からの距離を用いて安全性を評価した。今回の評価では、火薬取締法で定められる以下の 2 つの「法定保安距離」を用いた。

（1）第 2 火薬庫を一級火薬庫として考えた場合の法定保安距離（4. 1 項参照）

（2）第 2 火薬庫を二級火薬庫として考えた場合の法定保安距離（4. 1 項参照）

また、参考値として「JAXA 知見に基づくロケット爆発を想定した影響への考え方」を用いて同様に第 2 火薬庫からの距離についての評価を行った。以下にその考え方を示す。

（参考 1）ロケット爆発時の爆風圧の影響に対する考え方（JAXA）（4. 2 項参照）

（参考 2）ロケット爆発時の飛散物の影響に対する考え方（JAXA）（4. 2 項参照）

それぞれの評価結果を下記の表に示す。

	第 2 種保安物件 までの実距離	1)法定保安距離 (一級火薬庫)	2)法定保安距離 (土堤なし 二級火薬庫)	参考 1) 爆風圧に対する 距離	参考 2) 飛散物に対する 距離
火薬貯蔵量 200t (SRB-A3 本)	2000m	652m	1303m	1266m	1518m

上記の通り、参考値も含めすべての考え方における評価距離は評定となる第 2 種保安物件までの実距離 **2000m** 以内に収まっており、安全上で十分な保安距離が確保されている。

保安物件と保安距離の位置関係を図-1 に示す。

それぞれの詳細な評価内容は 4.1 項および 4.2 項に示す。

4. 1 火薬類取締法法定保安距離による安全評価

第 2 火薬庫土堤省略方向の影響を評価するに当たり、第 2 火薬庫を一級火薬庫、または二級火薬庫として考えた場合に土堤省略方向にある第 2 種保安物件に対してそれぞれの場合で必要となる法定保安距離を用い、土手省略方向に対し安全性を評価した。

(1) 一級火薬庫の法定保安距離

現在、設置当初の特認により当該第 2 火薬庫は土堤の省略された地上式一級火薬庫として許可を受けている。一級火薬庫として満たすべき法定保安距離に対する評価は以下の通り。

火薬類取締法施行規則第二十三条第二項

規則第三十二条（危険の虞のない場合の特則）の規程により、第二十条第一項（最大貯蔵量）の最大貯蔵量をこえて貯蔵する場合の保安距離は、当該保安物件に対して、当該火薬類の種類に応じ、次の算式により計算した距離以上の距離をとらなければならない。

$$\text{距離} = \{(\text{分母の貯蔵量に対応する保安距離}) \times (\text{貯蔵しようとする数量の立法根})\} \\ \div \text{前項の表の貯蔵量の立法根}$$

上記規則を準用し、第 2 火薬庫を一級火薬庫（土堤あり）とした場合、火薬 200t 保管時に必要な法定保安距離 **652m** となる。

(2) 二級火薬庫の法定保安距離

第2火薬庫の土堤省略方向への安全性を「土堤を設けない地上式二級火薬庫」として捉え、法定保安距離について以下の通り評価を行った。

火薬類取締法施行規則第二十三条第六項

地上に設置する二級火薬庫で周囲に土堤を設けないものは、第一項に規定する保安距離の二倍の保安距離をとらなければならない。

上記規則を準用し、第2火薬庫を土堤のない二級火薬庫として考えた場合、火薬 200t 保管時に必要な法定保安距離 **1303m** となる。評定となる第2種保安物件までの実距離は約 **2000m** のため問題ない。

4. 2 JAXA 知見による評価 (参考)

本項では参考として JAXA の知見に基づきロケット爆発を想定した影響への考え方を以て評価を行った。

(1) ロケット爆発時における爆風圧による影響の考え方

██████████に基づき、固体ロケットが爆発した際に生じる爆風による爆風圧の評価を行った。算出式は以下の通り。

ここで、基準爆風圧 ΔP とは、割れた窓ガラス等の飛散破片で人が障害を受けることを防ぐために定められた、爆風により窓ガラスなどが割れない圧力であり、██████████である。「窓ガラスの耐爆強度とその評価法 (高圧ガス Vol.26、小林高根)」参照

また、爆風圧の影響を算定するための TNT 換算率には、██████████
██████████において求められた TNT 換算率 ██████████ を用いた。

SRB-A3 本 (198,000kg) が爆発した際に生じる爆風が及ぶ範囲は $R=1266\text{m}$ (小数点以下切上げ) となり、実距離約 2000m に対し問題ない。

(2) ロケット爆発時における飛散物による影響の考え方

固体ロケットが爆発に伴い飛散する破片に対する安全を確保する上で必要な保安距離を JAXA 内文書「ロケット打上げ時等における保安距離の概説 (KQD-06001)」に基づき、各種爆発実験及びシミュレーションより求められた、下記の飛散物の最大飛距離を求める近似式を用いて算出した。

上記計算より、SRB-A3 本（198ton）が爆発した際に生じる飛散物から安全を確保するために必要な保安距離は $R=1518\text{m}$ （小数点以下切上げ）となり、実距離約 2000m に対し問題ない。

5. 土手省略方向海上への安全性評価

土堤が省略されている第 2 火薬庫北東側海上に対する安全性の評価として、種子島周辺に定期航路を持つ定期船の状況について再調査を実施した。

平成 26 年 5 月現在、種子島にある港とその他の港を結ぶ定期船、及び種子島周辺に定期航路をもつ定期船は以下の通り。

(1) 共同フェリー運輸（有）【新さつま、新種子島丸】

種子島西之表港～鹿児島新港

(2) 鹿商海運株式会社【はいびすかす】

種子島西之表港～鹿児島港（七ツ島）

種子島西之表港～屋久島宮之浦港

(3) COSMO LINE【プリンセスわかさ】

種子島西之表港～鹿児島本港

(4) 屋久島町営フェリー【フェリー太陽】

種子島島間港～屋久島宮之浦港

(5) 種屋久高速船株式会社【トッピー、ロケット】

種子島西之表港～鹿児島本港

種子島西之表港～屋久島宮之浦港

種子島西之表港～屋久島安房港

図-2 に種子島周辺の定期航路図を示す。

上記定期航路はいずれも種子島西側の海上を航行する定期航路であり、第 2 火薬庫の 土手省略方向である種子島東側海上を航行する定期航路は無い。また、土手省略方向の海岸沿いは遠浅のサンゴ礁が広がる海域であり、小型漁船等の往来の頻度も低い。以上のことから、土手省略方向の 海側への安全も確保されていると判断する。

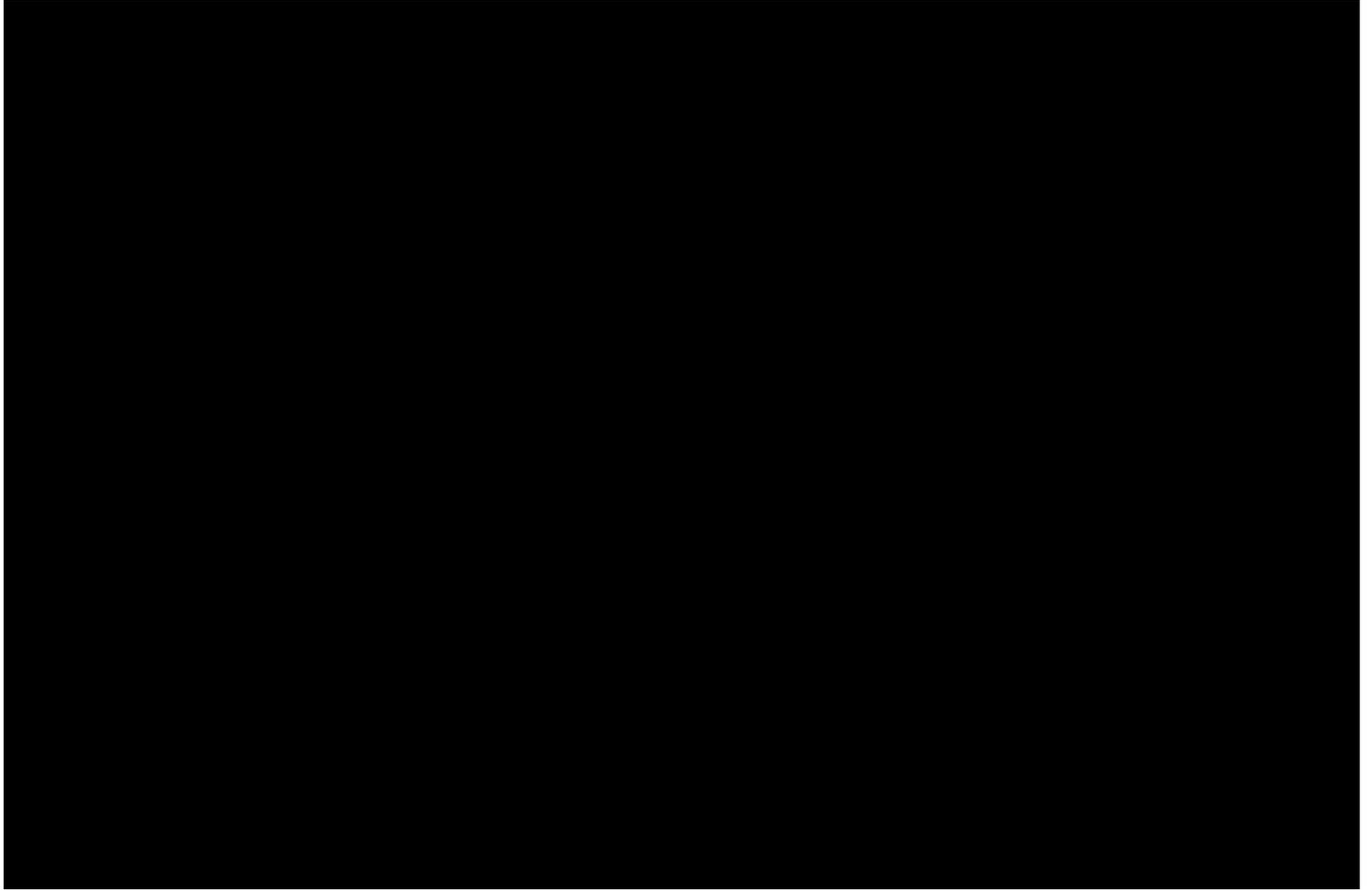


図-1: 保安物件と保安距離の位置関係

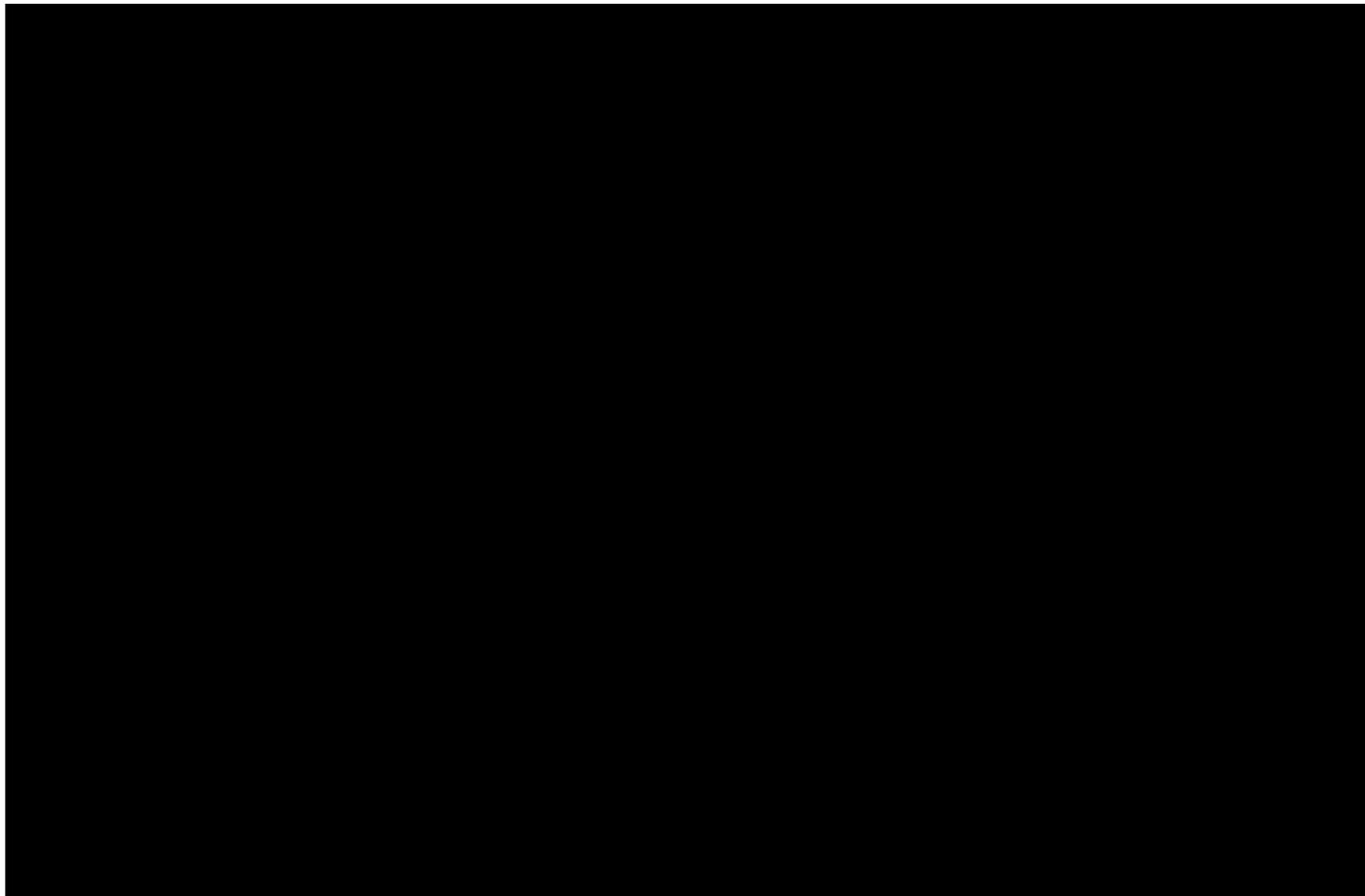


図-2:種子島周辺の定期航路図