

安全5-1-2

KQD-10007

AFMAN91-201 EXPLOSIVES SAFETY STANDARDSの改訂について

平成22年11月2日
宇宙航空研究開発機構
宇宙輸送ミッション本部

赤川

1. はじめに

AFMAN 91-201”Explosives Safety Standards”の基準文書である”DoD Ammunition and Explosives Safety Standards”が全面的に見直され、AFMAN 91-201も全面改訂されて米空軍内等で順次適用が行われている。改訂の理由は以下のとおりである。

(改訂理由)

- ・実験や研究に基づく知見が蓄積された。特に1980年代に始まったAdvanced Launch System(ALS)計画により改訂機運が高まった。
- ・National Fire Protection Agency(NFPA), Environmental Protection Agency(EPA), Bureau of Mines(BOM),Department of Transportation(DOT)等の米国内法規や他機関規定との不整合を正す必要があった。
- ・ハイブリッド、硝酸ヒドロキシルアンミニウム(HAN)やゲル化推進薬などに対応する必要があった。

2. AFMAN改訂影響

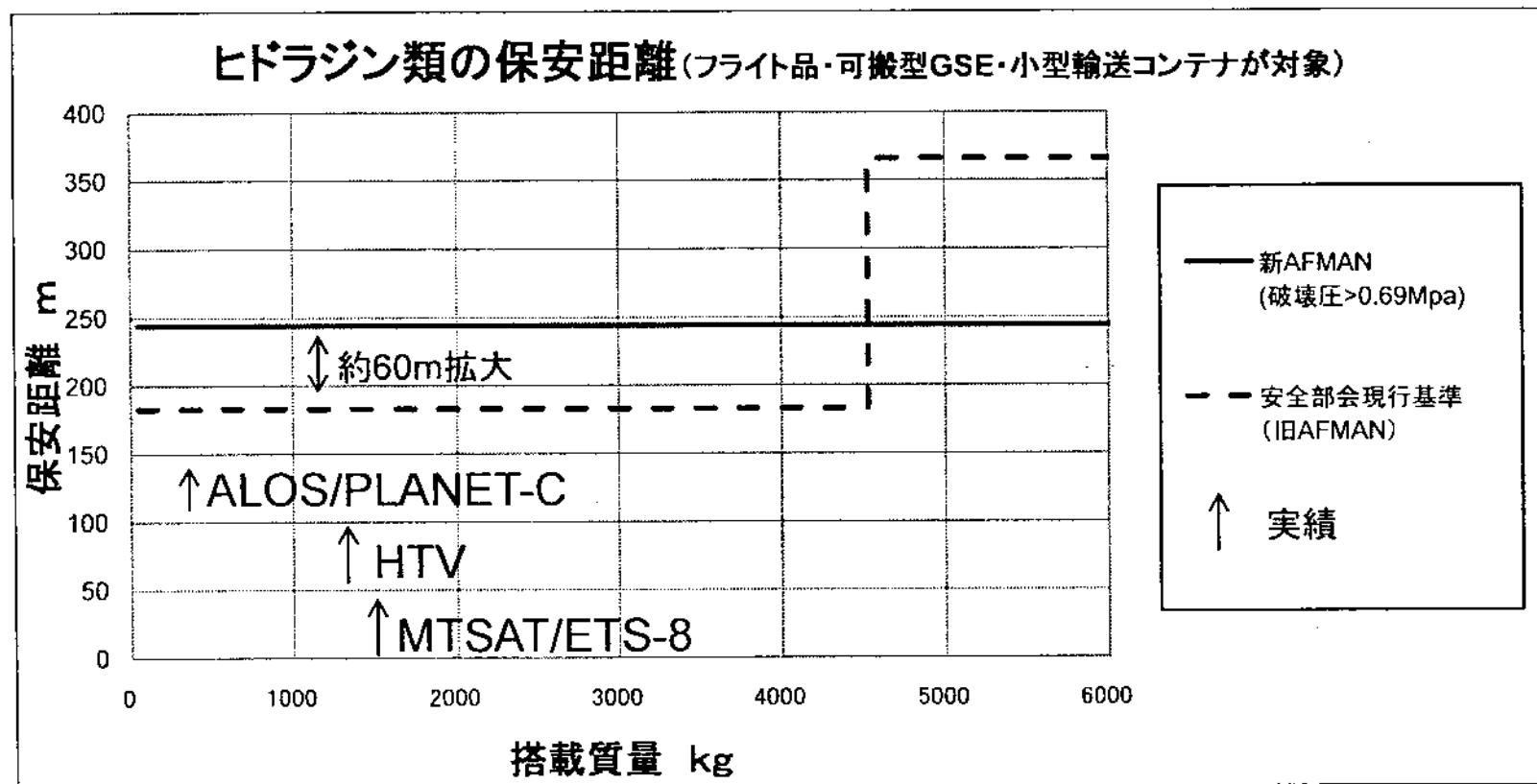
「ロケットによる人工衛星等の打上に係る安全評価基準」(宇宙開発委員会安全部会)が定める整備作業期間中の保安距離は、米国AFMAN 91-201 “EXPLOSIVES SAFETY STANDARDS”(旧AFR127-1)を源泉としている。AFMAN 91-201の改訂内容と安全基準に対する影響を以下にまとめる。

2.1 ヒドラジン類(ヒドラジン/MMH)の保安距離

(AFMAN改訂ポイント)

実験結果及び事故例の破片飛散距離を勘案して以下の保安距離となった。

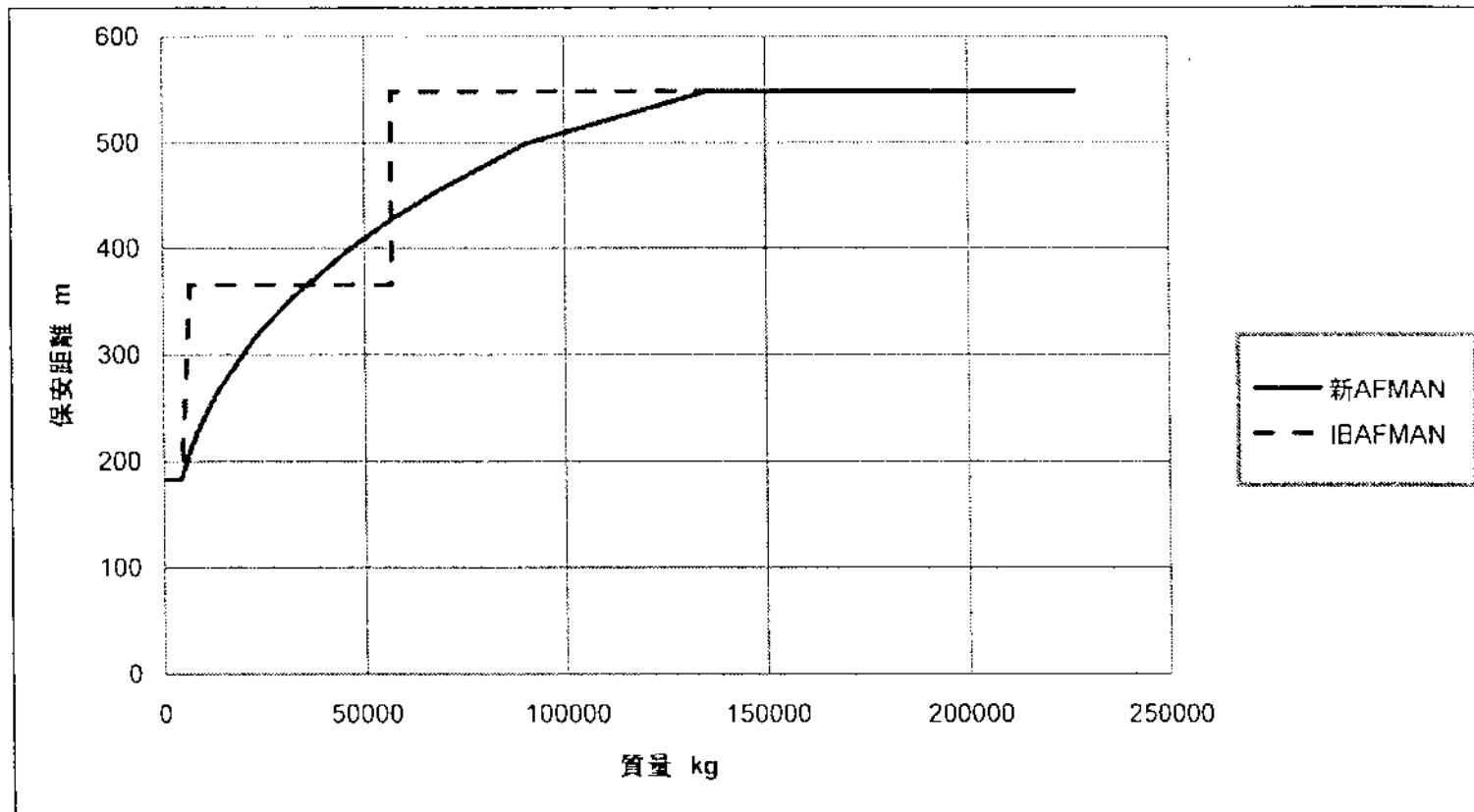
- ・破壊圧が0.69MPa(100psi)を越える小型宇宙機の燃料タンクや圧力容器、可搬式GSE等の保安距離は243.8m(800ft)一定。搭載量が10,000kgを超える大容量については次ページ参照。



2.2 設備タンク及び大量のヒドラジン類の保安距離

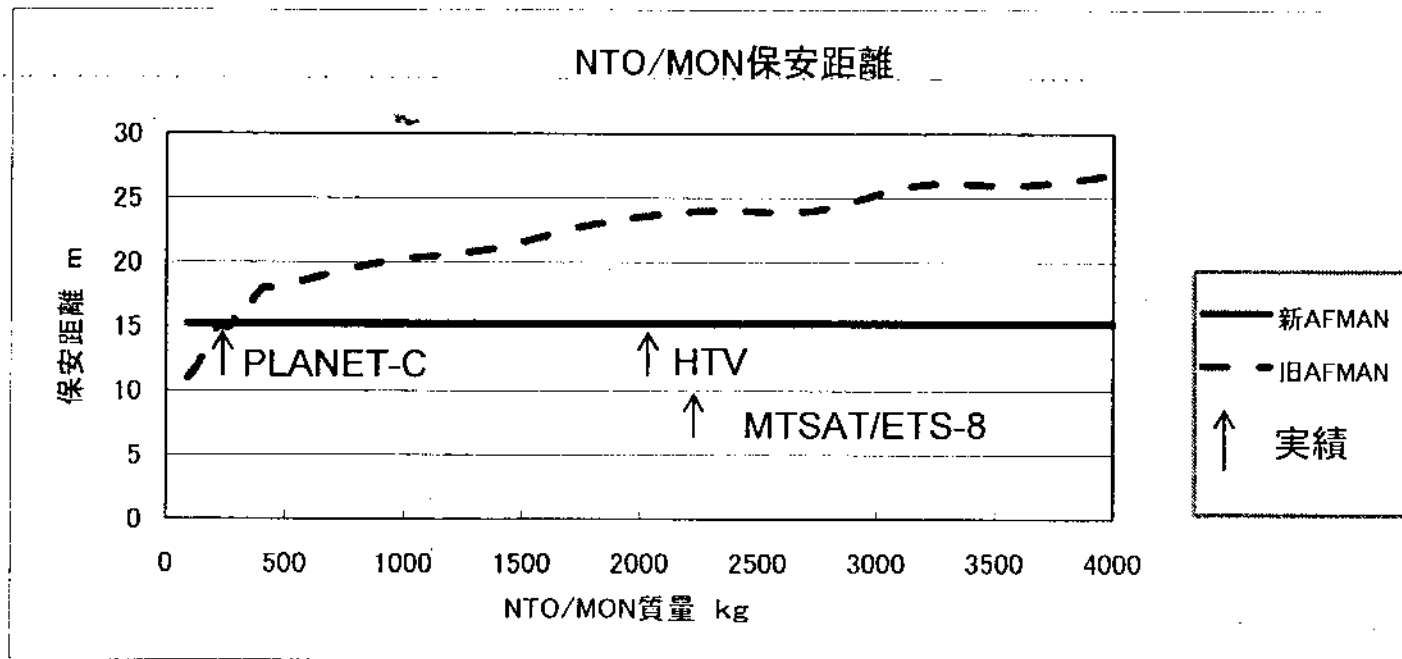
(AFMAN改訂ポイント)

階段状の規定から曲線の規定に変わった。本規定は、設備タンク及び搭載量10,000kg以上(保安距離が244m以上)の大容量宇宙機タンクに適用される。



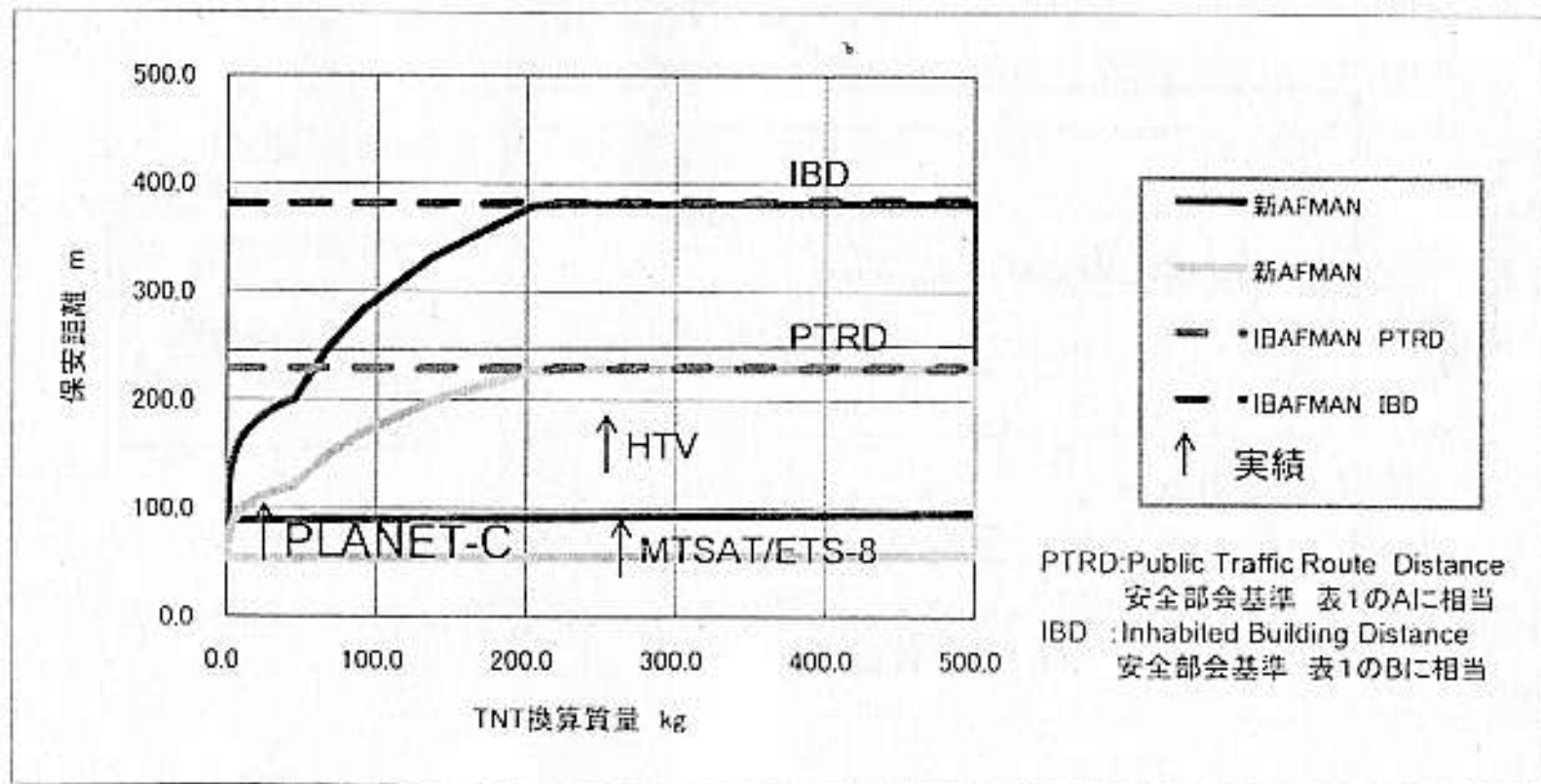
2.3 NTO/MONの保安距離 (AFMAN改訂ポイント)

- ・NFPA (National Fire Protection Association)430: Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizersと整合をとり、NTO/MONの保安距離は、15.2m(50ft)一定となった。



2.4 TNT換算質量に対する保安距離 (AFMAN改訂ポイント)

ヒドラジン類/NTO共存及びこれらと固体推進薬が共存する場合は、TNT換算質量を求めて保安距離を定める方法に変更は無い。226.8kg以下のTNT換算質量について新AFMANの保安距離は、IBAFMANより短い距離となっている。



(適用例)

PLANET-Cは、ヒドラジンとMON-3を200kg搭載する衛星である。ヒドラジンとMON-3のTNT換算率は、安全部会の基準に示されたとおり0.1であるから、20kgのTNT質量に換算される。

前ページに示した新AFMANでは、TNT換算質量20kgに対する保安距離は、PTRD=108m,IBD=180mとなる。

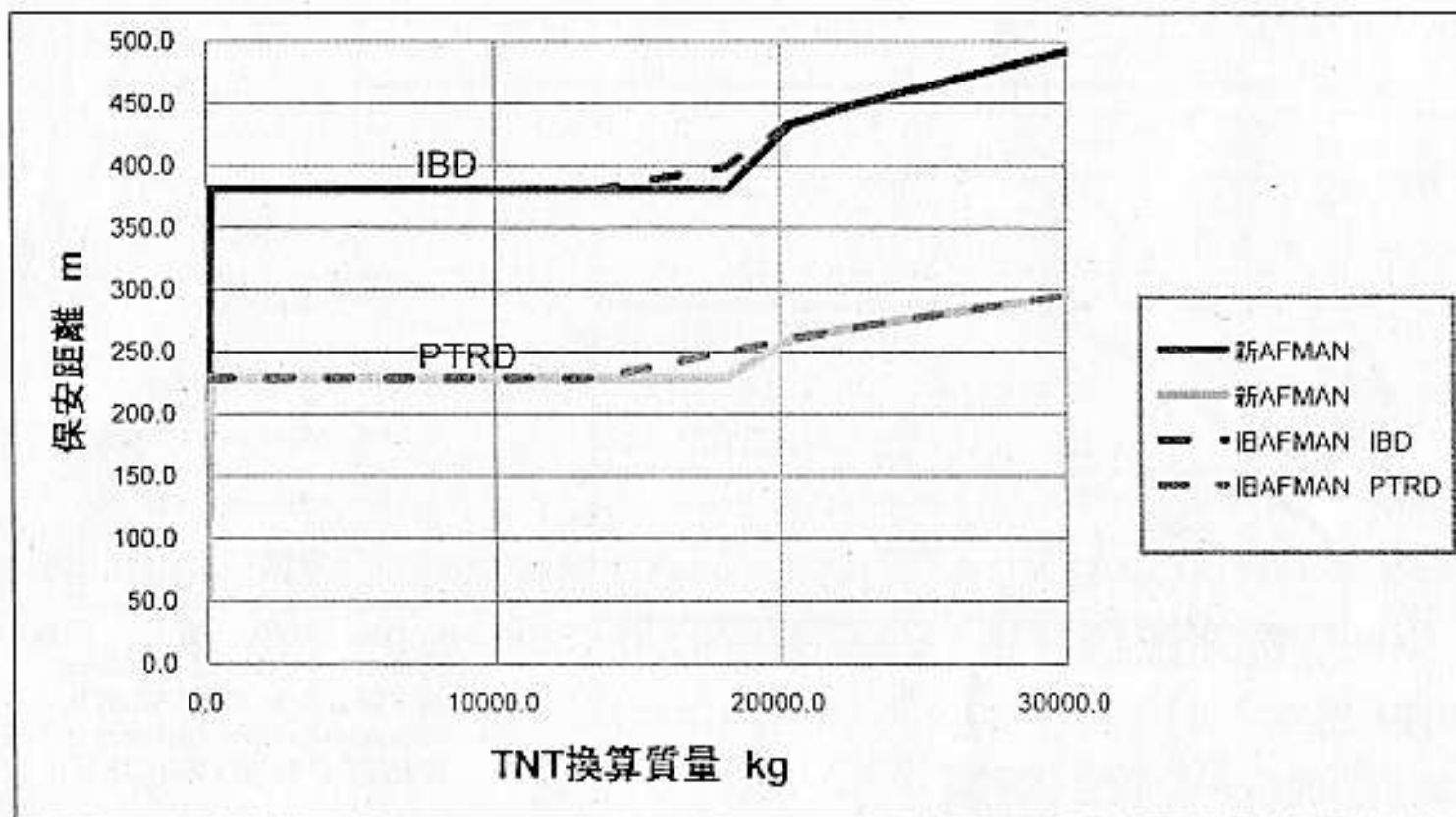
PTRD;Public Traffic Route Distance(安全部会基準の、比較的危険度の低い作業及び保管時に適用される保安距離に相当する。)

IBD ;Inhabited Building Distance (安全部会基準では、カウントダウン及びロケットへの衛星結合等、危険度の高い作業に適用される保安距離に相当する。)

ただし、3ページに示した通りヒドラジンの保安距離は、量によらず243.8mとなることから、推進薬を搭載したPLANET-Cの保安距離は、243.8mとなる。

(AFMAN改訂ポイント)

- ・TNT換算質量が約15,000kgから約20,000kgの範囲においても保安距離は小さくなっている。



2.5 まとめ

(1)ヒドラジン類の保安距離(タンク破壊圧>690kPa)

$$11.11 \times \text{推進薬質量}^{1/3} \text{ m} \quad \text{Min}=243.8\text{m}$$

(2)NTO/MONの保安距離

15.2m(一定)

(3)ヒドラジン類/NTO共存及びこれらと固体推進薬共存の保安距離^{*}(m)

TNT換算質量<45.4kg	⇒ 107.87 + [24.14 x ln(TNT換算質量)] m	Min=71.9m
45.4kg ≤ TNT換算質量 ≤ 204.1kg	⇒ -251.87 + [118.56 x ln(TNT換算質量)] m	
204.1kg < TNT換算質量 ≤ 13,608 kg	⇒ 381m	
13,608 kg < TNT換算質量 ≤ 45,359 kg	⇒ 15.87 x TNT換算質量 ^{1/3} m	
45,359 kg < TNT換算質量 ≤ 113,398 kg	⇒ 1.1640 x TNT換算質量 ^{0.577} m	
113,398 kg < TNT換算質量	⇒ 19.84 x TNT換算質量 ^{1/3} m	

Min=243.8m(ヒドラジン類が存在する場合)

^{*}) 安全部会基準の表-1のBに相当する距離である。表-1のAに相当する距離は、この数値の60%とする。

3. H-II Bロケット2号機の打上げに係る地上安全計画への影響

「ロケットによる人工衛星等の打上に係る安全評価基準」(宇宙開発委員会安全部会)が改訂され、新AFMANの保安距離が適用された場合、整備期間中の警戒区域が、185m又は230mから250mに拡大する。

JAXAでは従来から地形などを考慮しフェンスやゲートによるセキュリティ管理区域を設定し、作業エリアへの人員の入場を管理をしてきた。今回の保安距離拡大対象となる第2衛星フェアリング組立棟及び液体燃料取扱所については、拡大した新AFMANの保安距離を適用したとしても、このセキュリティ管理区域に内包されており問題はない。

- ・許可された作業関係者等以外の一般人は、セキュリティゲートで立入りを規制している。
- ・作業関係者についても(爆発事故に至る前段階の)漏洩発生時に手順で退避を要求している。この退避距離は新AFMAN要求を上回る。

参 考

ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準(抜粋)

整備作業期間における警戒区域

ロケット組立時等の各段階について、事故等の影響を最小限にするため、警戒区域は、少なくとも、次の式により計算した保安距離R又は表1による保安距離を半径とし、作業地点を中心とする円内とする。

(以下省略)

表1 整備作業期間中の保安距離

推進薬等質量		NTO		ヒドラジン類		ヒドラジン類、NTOの共存及びこれらと固体推進薬の共存の場合			
						A		B	
kg	(lbs)	m	(ft)	m	(ft)	m	(ft)	m	(ft)
91	(200)	11	(35)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
136	(300)	12	(40)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
182	(400)	14	(45)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
227	(500)	15	(50)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
272	(600)	15	(50)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
318	(700)	17	(55)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
363	(800)	18	(60)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
409	(900)	19	(65)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
454	(1,000)	20	(70)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
500	(1,100)	21	(75)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
545	(1,200)	22	(80)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
591	(1,300)	23	(85)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
636	(1,400)	24	(90)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
682	(1,500)	25	(95)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
727	(1,600)	26	(100)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
773	(1,700)	27	(105)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
818	(1,800)	28	(110)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
864	(1,900)	29	(115)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
909	(2,000)	30	(120)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
955	(2,100)	31	(125)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1000	(2,200)	32	(130)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1046	(2,300)	33	(135)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1091	(2,400)	34	(140)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1137	(2,500)	35	(145)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1182	(2,600)	36	(150)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1228	(2,700)	37	(155)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1273	(2,800)	38	(160)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1319	(2,900)	39	(165)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1364	(3,000)	40	(170)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1410	(3,100)	41	(175)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1455	(3,200)	42	(180)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1501	(3,300)	43	(185)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1546	(3,400)	44	(190)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1592	(3,500)	45	(195)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1637	(3,600)	46	(200)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1683	(3,700)	47	(205)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1728	(3,800)	48	(210)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1774	(3,900)	49	(215)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1819	(4,000)	50	(220)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1865	(4,100)	51	(225)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1910	(4,200)	52	(230)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
1956	(4,300)	53	(235)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2001	(4,400)	54	(240)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2047	(4,500)	55	(245)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2092	(4,600)	56	(250)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2138	(4,700)	57	(255)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2183	(4,800)	58	(260)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2229	(4,900)	59	(265)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)
2274	(5,000)	60	(270)	183	(600)	229	(750)	381	(1,250)

(注) AFR127-100による。

(表1抜粋)

Appendix A

AFMAN91-201は膨大な資料であり、また、今回の全面改訂で項目番号を始め旧版と体裁が大きく異なることとなった。本資料の説明内容が実際のAFMANのどこに記述されているか示す目的で本Appendixを作成した。

1. ヒドラジン類とNTO

AFMAN91-201の12.5項で各種推進薬の保安距離についてはTable12.5が呼び出されている。Table12.5の抜粋を添付する。矢印で示した欄にNTO/MON及びHydrazine類の記載がある。

Table 12.15. Hazard Classifications and Minimum QD for Energetic Liquids.

ENERGETIC LIQUID	OSHA/NFPA FUEL ¹ OR OXIDIZER ² CLASS	DOD STORAGE HAZARD CLASS	MINIMUM QD ³
Hydrogen Peroxide, > 60%	3 or 4 ⁴	5.1 (LA)	800 ³ ft or Table 12.19
IRFNA (Inhibited Red Fuming Nitric Acid)	3	8 (LA)	Table 12.19
Nitrogen Tetroxide/MON (Mixed oxides of nitrogen)	2	2.3 (LA)	Table 12.19
Liquid Oxygen	N/A	2.2 (LA)	Table 12.20
RP-1	II	3 (LB)	Table 12.18
JP-10	II	3J (LB)	Table 12.18
Liquid Hydrogen	N/A	2.1 (LB)	Table 12.21
Hydrazine, >64%	II	8 (LC)	800 ⁵ or 300 ⁶ ft or Note 7
Aerozine 50 (50% N ₂ H ₄ /50% UDMH) (Unsymmetric dimethylhydrazine)	IB	6.1 (LC)	800 ⁵ or 300 ⁶ ft or Note 7
Methylhydrazine	IB	6.1 (LC)	800 ⁵ or 300 ⁶ ft or Note 7
UDMH	IB	6.1 (LC)	Table 12.18

NTO/MONIについてはTabel12.19が呼ばれている。NFPA Oxidizer Class は2であり、600,000lbまでの保安距離は50ftと示されている。

Table 12.19. QD Criteria for Energetic Liquid Oxidizer (excluding Liquid Oxygen) Storage in Detached Buildings or Tanks. ^{1,2}

NFPA OXIDIZER CLASS ³	QUANTITY (lbs)	IBD/PTRD/ILD/ ABOVEGROUND IMD (ft)
2	up to 600,000	50
3	up to 400,000	75

ヒドラジン類については破壊圧が0.69MPaを超える小型圧力容器の保安距離は800ftとされており、注記5が適用されている。破壊圧0.69MPa以下の圧力容器については保安距離300ftで注記6が適用される。

(Table 12.15のNOTE)

1.~4. (省略)

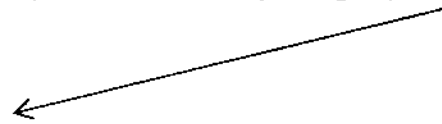
5. Should be used as a default value, unless otherwise hazard classified, when the material is packaged in small (non-bulk) shipping containers, portable ground support equipment, small aerospace flight vehicle propellant tanks, or similar pressure vessels that provide heavy confinement (burst pressure greater than 100 psi).

6. Should be used as a default value, unless otherwise hazard classified, when the material is packaged in small (non-bulk) shipping containers (DOT 5C or equivalent), portable ground support equipment, small aerospace flight vehicle propellant tanks, or similar pressure vessels providing a lower level of confinement (burst pressure less than or equal to 100 psi and if adequate protection from fragments is not provided from terrain, effective barricades, nets, or other physical means (lightweight building construction is not adequate). If protection from fragments is provided, use the IBD/PTRD "Protected" column of Table 12.21.

7. (次ページ)

下記に定義を示す大型タンクについてはTable 12.21が適用されるとある。

7. For large ready, bulk, or rest storage tanks (as defined in paragraphs 12.36.7, 12.36.9, and 12.36.10), use Table 12.21.



Ready storage. This storage is relatively close to the launch and static test stands; normally it is not involved directly in feeding the engine as in the case with run tankage, which is an integral part of all launch and test stand operations.

Bulk storage. This is the most remote storage with respect to launch and test operations. It consists of the area, tanks, and other containers therein, used to hold energetic liquids for supplying ready storage and, indirectly, run tankage where no ready storage is available.

Rest storage. This is temporary-type storage and most closely resembles bulk storage.

Table12.21の抜粋を以下に示す。

Table 12.21. QD Criteria for Liquid Hydrogen and Bulk Quantities of Hydrazines¹

PROPELLANT WEIGHT (W) (lbs)	IBD/PTRD		ILD/ABOVEGROUND IMD ^{6,7} (ft)
	UPROTECTED ^{2,3} (ft)	PROTECTED ^{4,5} (ft)	
≤ 100	600	80	30
150	600	90	34
200	600	100	37
300	600	113	42
500	600	130	49
700	600	141	53
1,000	600	153	57
1,500	600	166	62
2,000	600	176	66
3,000	600	191	72
5,000	600	211	79
7,000	600	224	84
10,000	603	239	90
15,000	691	258	97
20,000	760	272	102
30,000	870	292	110

2. 推進薬の混在ケース(TNT換算ケース)

AFMAN91-201の12.23項にHD1.1(爆轟)の保安距離がTable12.6のOther PESsによると示されている。(PES; potential explosion site) Table12.6の抜粋を以下に示す。

Table 12.6. HD 1.1 IBD and PTRD.

NEWQD (lbs)	IBD (ft) FROM:				PTRD (ft) FROM:			
	ECM			OTHER PESs ³	ECM			OTHER PESs ⁴
	FRONT ¹	SIDE ¹	REAR ²		FRONT ¹	SIDE ¹	REAR ¹	
1	500	250	250	NOTE 3	300	150	150	NOTE 4
1.5	500	250	250		300	150	150	
2	500	250	250		300	150	150	
3	500	250	250		300	150	150	
5	500	250	250		300	150	150	
7	500	250	250		300	150	150	
10	500	250	250		300	150	150	
15	500	250	250		300	150	150	
20	500	250	250		300	150	150	
30	500	250	250		300	150	150	
50	500	250	250		300	150	150	
70	500	250	250		300	150	150	
100	500	250	250		300	150	150	
150	500	250	250		300	150	150	
200	700	250	250		420	150	150	
300	700	250	250		420	150	150	
450	700	250	250	420	150	150		
500	1,250	1,250	1,250	1,250	750	750	750	
700	1,250	1,250	1,250	1,250	750	750	750	
1,000	1,250	1,250	1,250	1,250	750	750	750	

(Table 12.6 NOTE)

3. For NEWQD < 30,000 lbs, the distance is controlled by fragments and debris. Lesser distances may be permitted for certain situations (see paragraph 12.23.1). (NEWQD in lbs, d in ft)

30,000 lbs < NEWQD < 100,000 lbs: $d = 40\text{NEWQD}^{1/3}$

100,000 lbs < NEWQD < 250,000 lbs: $d = 2.42\text{NEWQD}^{0.577}$

250,000 lbs < NEWQD: $d = 50\text{NEWQD}^{1/3}$

4. Computed as 60 percent of applicable IBD.

*) NEWQD; net explosive weight for quantity distance

Table12.6のNOTE3でNEWQD < 30,000 lbsの保安距離は 12.23.1項によるとある。

12.23.1.1. HD 1.1 NEWQD < 450 lbs

primary fragmentsの飛散を防止できるが、それ自体が飛散物になる建物内での爆発にはTable12.10を適用する。primary fragmentsの飛散を防止できない建物内及びOpen Areaでの爆発にはTable12.4を適用する。

*)primary fragment; A fragment from material in intimate contact with reacting AE.

*)AE;ammunition and explosives

Table 12.10. HDD for HD 1.2.1 Stored in Structures Which Can Contribute to the Debris Hazard.

MCE ¹ (lbs)	HAZARDOUS DEBRIS DISTANCE ² (ft)	PTRD ³ (ft)	ILD ⁴ (ft)
≤ 31	200	200	200
50	388	233	200
70	519	311	200
100	658	395	237
110	695	417	251
150	815	489	293
200	927	556	334
300	1,085	651	391
400	1,197	718	431
450	1,243	746	447
> 450	1,250	750	450

Table 12.4. HD 1.1 Default Hazardous Fragment Distances (HFD) for IBD.

NEWQD (lbs)	HFD (ft) in the OPEN¹	HFD (ft) in a STRUCTURE²	NEWQD	HFD (ft) in the OPEN¹	HFD (ft) in a STRUCTURE²
< 0.5	236	200	30	561	200
0.7	263	200	31	563	200
1	291	200	50	601	388
2	346	200	70	628	519
3	378	200	100	658	658
5	419	200	150	815	815
7	445	200	200	927	927
10	474	200	300	1085	1085
15	506	200	450	1243	1243
20	529	200	> 450	1250	1250

Appendix B

DoD EXPLOSIVES SAFETY STANDARDS FOR ENERGETIC LIQUIDS PROGRAM

James E. Cocchiaro

The Johns Hopkins University/Chemical Propulsion Information Agency

Jerry M. Ward

Department of Defense Explosives Safety Board

1998 JANNAF Propellant Development and Characterization Subcommittee

and Safety and Environmental Protection Subcommittee Joint Meeting

の関連部分抜粋

ヒドラジン類についての記述

The most appropriate option for assigning Q-D requirements for items containing hydrazine and methylhydrazine could be to use specific fragment distances assigned for packaging in either a pressure vessel or a commercial storage/transport configuration. Based on maximum debris ranges observed in accident and test events, appropriate fragment distances appear to be 300 feet for hydrazine drums and 800 feet for hydrazine pressure vessels (Cocchiaro, 1998). This is reasonably consistent with current Q-D criteria for hydrazines, which designates a 600 foot Inhabited Building Distance (IBD) for quantities up to 10,000 pounds based on vessel fragment hazards. In the absence of adequate test and/or accident data, Aerozine 50 (50/50 mixture of hydrazine and unsymmetrical dimethylhydrazine) will be considered equivalent to hydrazine.

NTO/MONIについての記述

Table 12 shows proposed liquid oxidizer criteria (excluding liquid oxygen) derived from the non-sprinklered (for conservatism) building requirements in NFPA 430 and converted to a conventional DoD format.

Table 12. Proposed Q-D Criteria for Energetic Liquid Oxidizer (excluding Liquid Oxygen) Storage in Detached Buildings or Tanks^{1,2}

NFPA Oxidizer Class	Quantity (lbs)	IBD/PTR/ILD/Above Ground Magazine ³ Distance (ft)
2	up to 600,000	50
3	up to 400,000	75
4 ¹	10 - 100	75
	101 - 500	100
	501 - 1,000	125
	1,001 - 3,000 ²	200
	3,001 - 5,000	300
	5,001 - 10,000	400

水素(及びヒドラジン)についての記述

The fragment distances are greater than potential blast overpressure safety distances for hydrogen-air explosions discussed previously(燃焼熱に経験値として3~4%のファクターを掛けてhydrogen-air explosions 時のTNT換算率を86~115%見積もっている件をさしている。基本的には我が国のコンビナート則のTNT換算率と同じ考え方), consistent with observed hazards with other materials such as hydrazine. Thus, the most prudent approach to hydrogen Q-D might be to use the historical fragment distances (as shown in Table 17) as default criteria.

Table 17. Potential Q-D Criteria for Liquid Hydrogen

Quantity (pounds)	IBD/PTR/ILD/Above Ground Magazine Distance (ft)
to 10,000	600
10,001 – 100,000	1200
Over 100,000	1800