

HMX / SB 複粒装薬の研究

高瀬保典*, 小野弘法*, 伊東 威*

HMX 火薬とシングルベース火薬とを混合した複粒装薬について、砲内弾道性能を計算する試案を提示した。この計算に先だて、密閉ポンプ試験の圧力-時間曲線の実測値と、火薬の平行層状燃焼と燃焼法則から予測される理論値との一致を確かめた。

性能計算の結果から次の事柄がわかった。HMX 火薬は七孔薬との複粒装薬の場合には、制限圧力の範囲内で初速を上げることができるが、単孔薬との複粒の場合には困難である。HMX 火薬は複粒装薬化の方法で実用しようと思うが、それには相手シングルベースの性質や形状に適当なものを選ばなければならない。

1. 緒言

従来、HMX (Tetramethylene tetranitramine) を発射薬に使用するためには、その高圧力指数を低下させることが第一条件とされてきた¹⁾。本研究室においても、触媒添加による指数低下の実験が繰返されたが、未だに好結果は得られていない²⁾。今回は従来の試みをはなれ、別の観点から HMX の使用方法を検討した。

一般に火砲の発射には、薬組成および薬形状を同じくする一種類の火薬が用いられ、薬種および形状を異にする二種類の火薬を混合状態で使用することは極めてまれである。いま仮りに、前者を単粒装薬、後者を複粒装薬と名づける。本研究では、この後者の方法、すなわち HMX バインダー成型薬 (試作薬) と、現用のシングルベース火薬 (SB) の複粒装薬化によって、砲内弾道性能を向上させる何らかの効果を期待している。実験は次のような順序で行なわれた。

ある発射薬の弾道性能を求めようとする場合、通常、密閉ポンプ内の火薬の燃焼圧力上昇曲線 ($P-t$ 曲線) にもとづいて、圧力-燃速関係 ($P-r$ 関係) を導出し、圧力指数 (α) と燃速係数 (β) とをまず定める。次いでこれを使用して弾道計算を行なう。従って、二種類の火薬を複粒装薬とした場合でも、その実測 $P-t$ 曲線が、それぞれの火薬の薬形状と $P-r$ 関係から予測される計算 $P-t$ 曲線と仮りに一致するならば、複粒装薬のポンプ内における圧力生成過程は、単粒装薬のポンプ内におけるそれと全く変わらない

とみることができる。そのことは、複粒装薬の弾道計算に対しても単粒装薬の場合と同じ方法を、ただ重ね合せて用い、そして同じ処理方法をすれば、その弾道計算も可能であることを意味する。

本研究では初めに、現用の SB 単孔薬と 7 孔薬の二種類の複粒装薬について、密閉ポンプによる上記の検討実験を行ない、次いで SB 単孔薬又は 7 孔薬と HMX 試作薬の複粒装薬について、同じ検討を行なう。このようにして計算可能の事実を確かめた後、複粒装薬の砲内弾道計算を行ない、初速および最大圧力におよぼす複粒装薬化の効果を吟味する。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

SB 火薬としては M1 タイプ (規格 MIL-P-309 A) の単孔薬と 7 孔薬を使用した (第 1 表参照)。また、HMX 試作薬としては HTPB (Hydroxyl-terminated polybutadiene) バインダーで成型した小円柱薬 ($6\phi \times 10\text{mm}$ 0.5g) を使用した。HMX の粒度は $20 \sim 45\mu$ の一山分布、平均粒径 32.9 のものである。HTPB には R-45M を、架橋剤には TDI (2,4-tolylene diisocyanate) をそれぞれ用いた。また HMX /HTPB 系の燃焼生成ガス組成および燃焼温度の計算結果にもとづき、温度が低く、遊離炭素の生成されぬような HTPB 量として 15% を選んだ。

2.2 実験方法

内容積 175cc のデュポン型密閉ポンプ (蔵持科学 KRS-RG1009) 内で試料を燃焼させ、時間に対するポンプ内圧力の変化を測定し、BRL (Ballistic Research Laboratory) の方法で各圧力下における燃速を定め、この関係から α および β を決定した³⁾。圧力変化の測定にはピエゾビックアップ (キスラー-6221A)

昭和59年10月5日受理

*防衛大学校化学教室

〒139 横須賀市走水 1-10-20

TEL 0468-41-3810 内線2408

Table 1 Some characteristics of single-base propellants to be used

Type	Ml	
Geometry of grain		
Perforation	Single	Seven
Length (cm)	0.6753	0.8430
Outer diameter (cm)	0.1189	0.3720
Inner diameter (cm)	0.043	0.043
Force (cm-kg/kg)	9296400	
Ratio of specific heat	1.2593	
Covolume (cm ³ /kg)	1104.41	
Isochoric flame temperature (°K)	2417	
Density (kg/cm ³)	0.00157	
Burning rate constant of Vieille's equation $r = \beta P^\alpha$ (mm/sec-(kg/cm ²) ^{α})	0.3585	
Pressure exponent	.0.71	

の入力をチャージアンプ (同5001) によって電圧として、一旦、デジタルメモリーに記憶させる。これを必要に応じてシンクロスコープ、デジタルプリンターあるいはXYレコーダに再録し、またマイコンに入力して上記の α と β とを算出する。なお、実験はすべて20~30°Cの間で実施された。また砲内弾道性能値

の計算は防衛庁技研報告²⁾に基いて作られたプログラムによるもので、上記の実測 α と β 、ならびにそれぞれの薬形状の測長を入力して算出したものである。

3. 実験結果

3.1 密閉ポンプ内 $P-t$ 曲線の実測値と計算値の比較

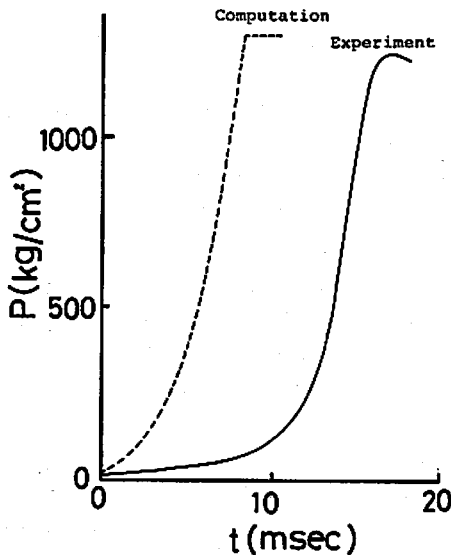


Fig. 1 Pressure-time curves for SB single perforated grain charge

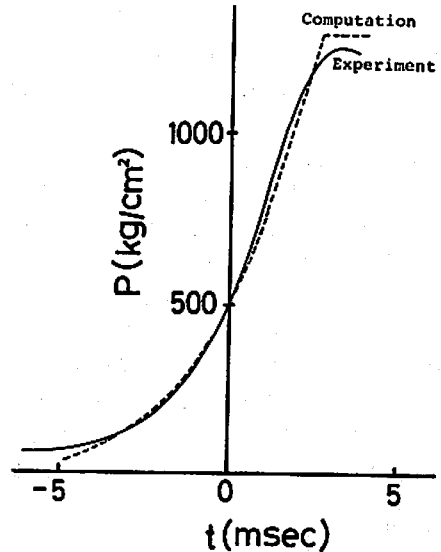


Fig. 2 Comparison between experiment and computation for pressure-time curves in Fig. 1

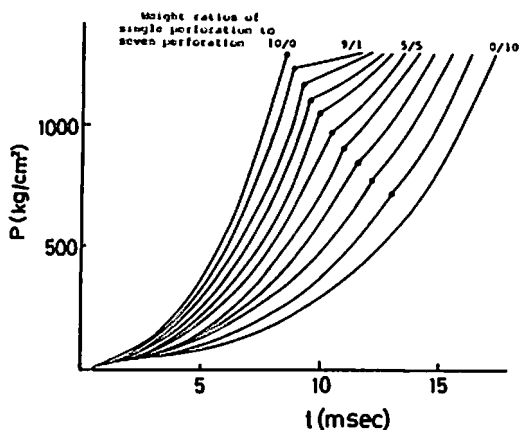


Fig. 3 Pressure—time curves computed for SB (single perforation)/SB (seven perforation) dual-grain charges

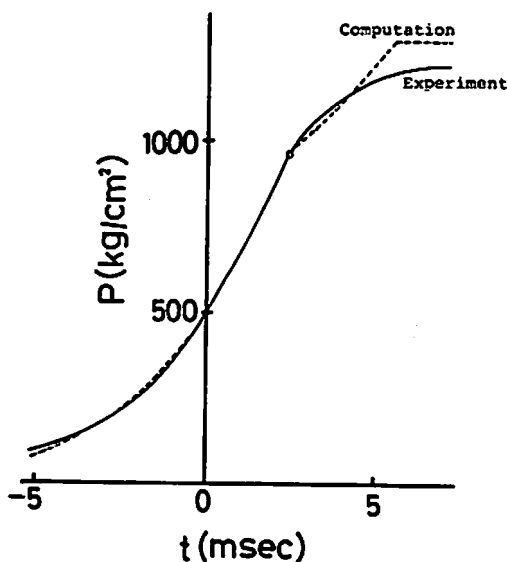


Fig. 4 Comparison between experiment and computation for pressure—time curves of SB (single perforation)/SB (seven perforation) 5/5 dual-grain charge

3. 1. 1 単粒装薬の場合

SB単孔薬あるいはSB7孔薬をそれぞれ、単粒装薬として密閉ポンプ中で燃焼させ、その $P-t$ 曲線を実測した。一方、使用火薬の α と β 、および形状値は既知であるから、その $P-t$ 曲線は次の方法で計算できる。すなわち、砲内弾道計算プログラムで弾丸起動圧を最大圧以上と仮定し、また薬室容積をポンプ容積として定容下の条件から算出される。単孔薬について

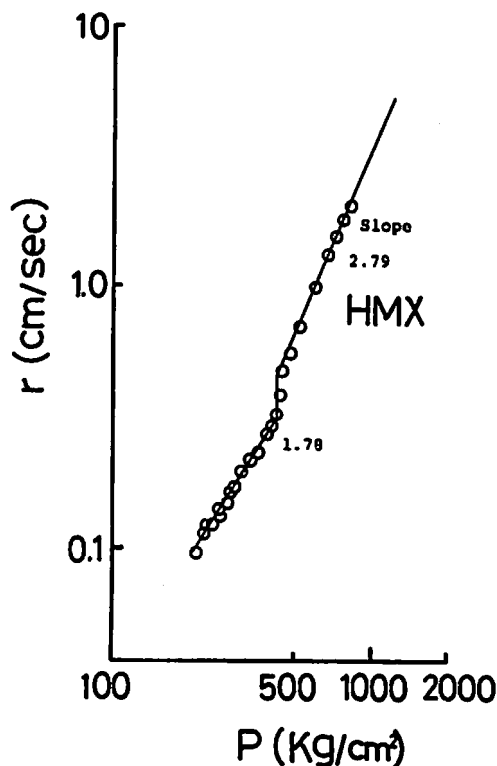


Fig. 5 Relation between pressure and burning rate for HMX-HTPB (15%) propellant

$P-t$ 曲線の実測値と計算値とをそれぞれ第1図に示す。同図のごとく実測値の立ち上りは計算値のそれよりおくれ、薬粒上の伝火時間が実際にはゼロでないことを示す。いま仮りに実測値を計算値の方へ平行移動し、約 500kg/cm^2 の点で両者を重ねると、第2図のように極めてよい一致をうる。このことは「実際には着火おくれがあるが、一旦、着火した後は火薬は理論通りに平行層状燃焼する」ことを示唆する。以上のような実測値のおくれは、7孔薬ではさらに大きく、また後述するHMX試作薬では一層大きい。しかしながらこれら各個の実測値と計算値との形状の一致は極めてよく、何れの試料についても上記の示唆は確認された。

3. 1. 2 SB単孔薬/SB7孔薬複粒装薬の場合

単孔薬/7孔薬の複粒比(混合重量比)を9/1, 8/2……1/9と変化させた9種類の試料を用意し、それぞれを密閉ポンプ中で燃焼させ、 $P-t$ 曲線を測定した。一方、単粒装薬の場合と同じ手法でこの場合の理論曲線を計算した。ただし、この計算では、単孔薬と7孔薬とは同時にまた互に独立に燃焼し、それぞれの生成分圧の和を理論総圧力とする。この計算値を第3

図に示す。同図にて立ち上りの急傾斜の曲線部分は単孔薬と7孔薬の分圧の和であり、この線が折れる位置(丸印)は単孔薬の燃焼完了点であり、残りの曲線部分が7孔薬残片の燃焼圧部分である。これらの計算値のうち、複粒比5/5の曲線を例にとり、相当する実測曲線とを重ねると第4図のように、極めてよく一致する。以上から複粒装薬の場合においても、二つの薬形がたとえどんなに違っていても、各薬はほぼ理論通りの燃焼を呈し、ポンプ内総圧力はそれぞれの分圧の和となることが確認された。

3. 1. 3 HMX 試作薬/SB 単孔薬又は7孔薬複粒装薬の場合

HMX 試作薬の $P-r$ 関係を密閉ポンプ法によって求め、 α と β を定める。元来、HMX の燃速は粒度および圧力範囲に依存して不規則に変化し、また使用したバインダーによっても影響をうける。本試作薬の場合、 $P-r$ 関係は第5図のように、約 450kg/cm^2 の圧力点において屈折する二本の直線となった。この測定値にもとずき圧力範囲毎に、 α と β を変えてコンピュータに入力し、 $P-t$ 曲線を計算する。この計算値と実測値の比較は、先ず HMX 試作薬の単粒装薬について、よく合うことを実証(3.1.1に既述)した後、次の三通りの複粒装薬について行なわれた。

HMX 試作薬/SB 単孔薬 等量比

HMX 試作薬/SB7孔薬 等量比

HMX 試作薬/SB7孔薬/SB 単孔薬 等量比

何れの場合も計算値と実測値とはよく一致した。たとえば上記第一例の結果を示せば、第6図のようである。以上の結果から、HMX 試作薬とSB火薬との複粒装薬についても、燃焼中の圧力上昇の様相は理論通りの過程で進行すると云うことができる。また HMX に対していわれる難着火性の懸念も、SB との共存によって解消するとみられる。

3. 2 複粒装薬が初速および最大圧力におよぼす影響

前項の密閉ポンプ実験の結果によれば、複粒装薬のそれぞれが異種あるいは異形であることは問題でなく、それらの燃焼中の瞬間圧力は、その時の各火薬の形状および燃速式から導出される理論圧力の総和に等しいことが証明された。この概念は砲内弾道計算に対しても適用することができる。本節では現用の 155 mm 榴弾砲と榴弾の諸元を使用して、複粒装薬が弾道性能におよぼす効果を吟味する。

3. 2. 1 SB 単孔薬/SB 7孔薬複粒装薬の場合

単孔薬と7孔薬の複粒比を9/1から1/9まで変化して、それに伴う最大圧力、初速および装薬量の変動を調べた。まず最大圧力を 3000kg/cm^2 に制限した条件下において、他の変数を計算すると第7図のよう

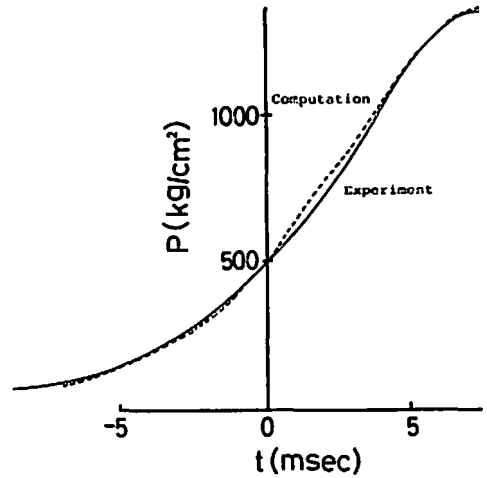


Fig. 6 Pressure-time curves for HMX/SB (single perforation) 5/5 dual-grain charge

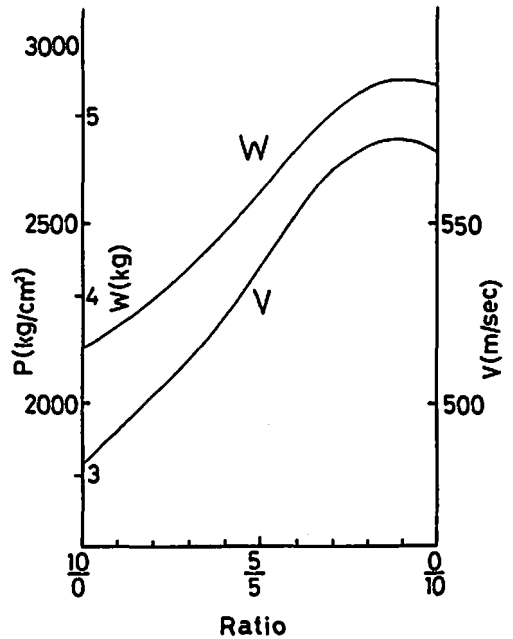


Fig. 7 Relations of charge weight and muzzle velocity to the ratio of SB (single perforation) / SB (seven perforation) under a fixed pressure of 3000kg/cm^2

になる。同図によれば、7孔薬の含有率が高いほど、装薬量が増加しても制限圧力を超えることがなく、一方初速は増加し、1/9の時最大値を呈する。

また、装薬量を 3.7kg に維持した条件下において其

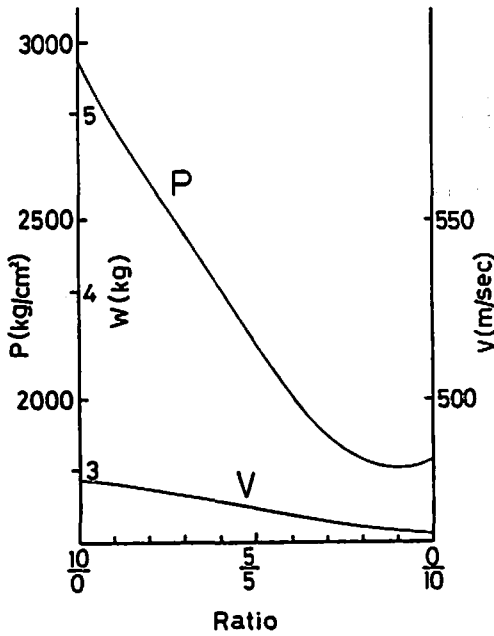


Fig. 8 Relations of bore pressure and muzzle velocity to the ratio of SB (single perforation) / SB (seven perforation) under a fixed charge weight of 3.7 kg

他の変数を計算すると、第8図のようになる。同図によれば、7孔薬の含有率の増加と共に最大圧力は急速に減少し、1/9の点に最少値をもち、一方、初速は緩かに一様に減少することがわかる。両図は複粒比1/10毎に各因子の動きを計算したものであり、その間、一端の単孔薬から他端の7孔薬へ至る曲線は決して単調なものではなく、途中に最大値あるいは最小値が存在することを示した。もちろんここに示した関係は、SB火薬M1タイプの単孔薬と7孔薬という固有の形状寸法と燃焼性能に依存した一面を示すにすぎない。しかし、これらを複粒装薬とすることによって予想外の効果が発揮されるということ、この事実が普遍化して考えることであり、注目すべき点であろう。

3. 2. 2 HMX試作薬/SB7孔薬複粒装薬の場合

更に異種火薬に拡張してHMX/SBの複粒について計算を行なった。最大圧力3000kg/cm²を維持した場合、HMX試作薬/SB7孔薬の複粒比に対する初速の変化は第9図のようになる。同図によれば、7孔薬の含有率の増加と共に初速は急激に増加し、0.5/9.5の点で最大となることがわかる。また同図には既載の単孔薬/7孔薬の結果(第7図)を点線で併記した。この両線を比べると、7孔薬は単粒装薬で使うより単孔薬10%含有する複粒装薬とする方が、初速増加には有利

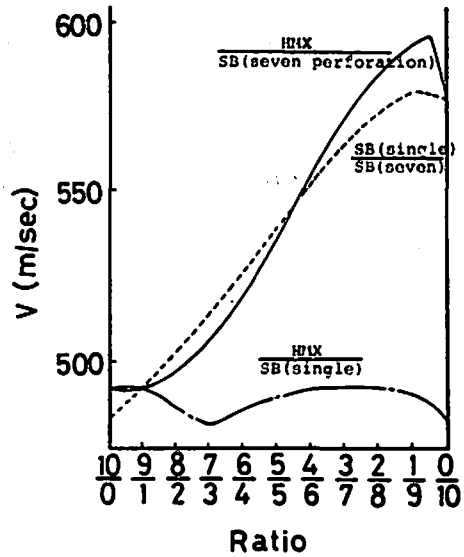


Fig. 9 Relations of muzzle velocity to weight ratio of HMX/SB (or SB/SB) dual-grain charges under a fixed pressure of 3000 kg/cm²

であり、なおHMX試作薬5%含有の複粒装薬とすれば、一層高い燃速増加を期待しうることがわかる。

一方、SB単孔薬を上記の7孔薬の代りに使用した場合には、同図の下部に鎖線で示されるような、ほぼ水平な線となる。この線にも最大および最小値がみられるが、著しい効果といえるものではない。結局HMX試作薬の複粒化には単孔薬より7孔薬がより適切という事がわかった。

4. 論議

HMX試作薬の α と β を定めるにあたっては、第5図の $P-r$ 関係が基になっている。然しこの関係は以前に本研究室で測定した同類のデータに比べ、急傾斜でしかも低燃速側によっている。この傾斜はむしろ、Cohenらの密閉ポンプ法データと近似する⁹⁾。彼等によれば、これはポンプ内における燃焼の際、粒子破碎が起るためとしている。本実験においてもポンプ内で同様なことが起っているかも知れない。しかし内部現象とは無関係に α と β は第5図にもとづいて定められ、これを使った計算 $P-r$ 曲線は実測曲線と良く一致している。すなわち、この α と β の値はこの実験に関する限り正しいものといえる。

本研究は緒言に述べた通り、HMXの使用法の一吟味であり、砲内弾道計算においても、変数相互間の検討は全く行なわれていない。すなわち、現用発射薬の二薬形と試作薬の一薬形の組み合わせに過ぎない。しかし、いま仮りに試作薬と単孔薬の複粒装薬をとりあ

げ、試作薬の薬径を現在よりも小さくした場合、初速はどうかを試算してみると、この結果からは初速の増加が予測される。しかしこれには、更に薬長の影響が加わり、決して単純増加の姿をとっていない。つまり、この円柱形、組み合わせ、初速、に限った範囲内においてさえ、最適条件を見出すにはまだ数多くの検討が必要とされる。

5. 結論

HMXとHTPB(15%)を用い小円柱状成型薬を試作し、これを現用SB単孔薬または7孔薬と混合して、複粒装薬とする発射薬構想を提示した。この砲内弾道性能を計算するに先だて、密閉ボンブ試験のP-t曲線について実験値と計算値が一致することを実証した。

砲内弾道計算の結果、次の事柄がわかった。一定の制限圧力の下において、HMX試作薬はSB7孔薬と複粒装薬化することによって、初速を増加させることができるが、SB単孔薬との複粒装薬では、ほとんど

初速増加を期待することはできない。この試みは特定の薬性と薬形状に関するものであるためその成果は、普遍的な性質に乏しい。しかし本実験によって、HMXを発射薬に使用しうる可能性が見出された。

文 献

- 1) O. K. Heiney, National Defense, 58, 152 (1973)
- 2) 山本多喜男, 伊東 威, 防衛大学校理工学研究報告, 22, 25 (1984)
- 3) A. A. Juhasz & C. F. Price, "The closed bomb technique for burning rate measurement at high pressure", pp. 129-151 (1978) vol. 63, Progress in Astronautics & Aeronautics, New York Univ.
- 4) 田代 泰, 片貝祐康, 丹 信義, 防衛庁技術研究本部技報, 第8巻, 75号, p. 71 (1969)
- 5) N. S. Cohen & L. D. Strand, AIAAJ, 18, 968 (1980)

A Study on HMX/SB Dual-Grain Charges

by Yasunori TAKASE*, Hironori ONO*, and Takeshi ITO*

A plan for dual-grain charge being composed of nitramine (HMX) propellant and single-base (SB) propellant was proposed in the calculation for interior ballistic performances. Before the calculation it was confirmed that Pressure-time curves obtained by closed-bomb tests agree with the theoretical curves depending upon the parallel layers burning and the burning rate law.

The results of the performance calculation are as follows: For dual-grain charge of HMX propellant and the seven perforated SB propellant it can be expected to increase in muzzle velocity within a restricted pressure, but the same may not be expected for the charge of HMX propellant and the single perforated SB propellant. A practical application of HMX propellant will be made by means of the dual-grain charge, but it is necessary to find out the suitable formulation and configuration of SB propellants.

(*Department of Chemistry, The National Defense Academy,
Hashirimizu, Yokosuka, 239 JAPAN)