

Fig. 2 Shock velocity (U_s) vs. plexiglass gap length (l) for various diameter (ϕ) of donor explosive.

体中を伝播する入射衝撃波を加速するに十分な反応熱を生成することが出来る, 限界の入射衝撃波の強さを測定することである。測定方法は, Campbell¹⁾らによ

って用いられたのと本質的には同じであるカードギャップテストにデントテストを組合せて行った。装置の概略図は, Fig. 1 に示してある。それは雷管, ドナー爆薬, ショックアテネーター, 爆薬, およびアルミニウム (Al) ブロックより成り立っている。

ドナー爆薬は, 80% PETN と 20% SBR (Styrene, Butadiene, Rubber) である。これを, 長さ 60mm で内径各々 20, 31, 67mm の塩化ビニール管中 (肉厚 3 mm) につめて使用した。初期密度は 1.24 g/cm^3 で, 定常爆轟速度は 6900 m/sec である。ショックアテネーターは, $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ の Plexiglass 板で, 厚さは 1, 2, 3, 5, 10, 20, と 30mm のものを組合せて用いた。Plexiglass 板を適当に組合せる事で, アテネーターの全長 l の末端で希望する衝撃波速度 U_s をうるができる。ドナー爆薬の径が 67mm の時のみアテネーターとしてはより大きな Plexiglass 板 ($70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$) を用いた。衝撃波の通過時間は, 径 0.11mm のエナメル線を燃り合せたイオンギャップ探針によって測定した。 l を広い範囲に変化させて, 多くの実験を行って局所的な衝撃波速度を求めることができる¹⁾。アテネーター内の入射衝撃波速度の実験結果は Fig. 2 に示してある。

アテネーター内の入射衝撃波圧力 P は次の関係式によって計算出来る。

$$U_s = c + s U_p \quad (1)$$

$$P = \rho_0 U_s U_p \quad (2)$$

ここで, U_s は衝撃波速度, U_p は Plexiglass の粒子速度, ρ_0 は Plexiglass の初期密度 ($\rho_0 = 1.185 \text{ g/cm}^3$), c と s は Liddiard⁵⁾, Halpin and Graham⁶⁾ らによって実験的に得られた常数である。この研究においては, $P-l$ の関係を評価するのに Halpin and

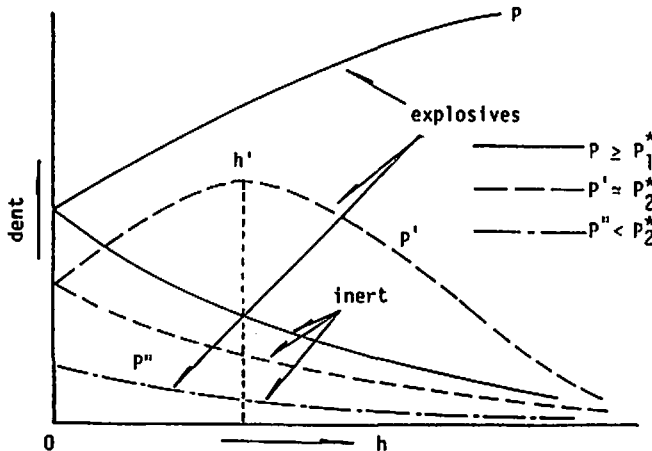


Fig. 3 A schematic variation of the shock strength vs. the amount of the explosive.

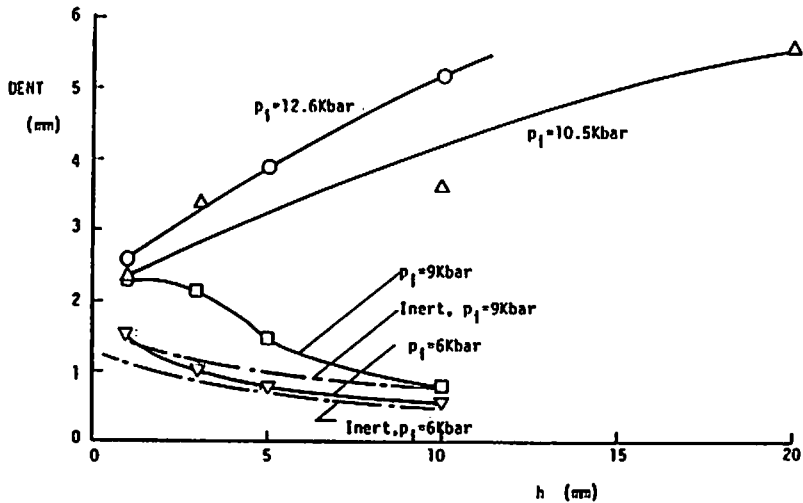


Fig. 4 Experimental results on the strength of the propagating shock vs. the height of the explosive. ($\rho_0 = 0.6 \text{ g/cm}^3$)

Graham らの関係式を用いた。

試料の爆薬は内径 30mm で、高さ (h) 各々 1, 3, 5, 10mm のステンレス製リングにつめる。爆薬の末端に、50mm×50mm×30mm の Al 板を置く (Fig. 1 参照)。各実験について、爆薬は、食塩 + グアーガム + 水の不活性物質 (爆薬と同じ密度) とかえて、爆薬の場合とデントの深さを比較する。この比較は、爆薬中に発熱反応が生じたか否かを判定する圧力増加を測定するためである。この実験で観察された結果の特徴を、モ

デル的に Fig. 3 に示してある。

入射衝撃波が十分に強い時は (その衝撃圧力を P とする)、観察されたデントの深さは、爆薬をつめた高さ h が增加するにつれて増加する。これは、入射衝撃波が、化学反応によって放出された熱によって連続的に加速された事を意味する。逆に、不活性物質を用いた時は、衝撃波は減衰するためデントの深さは h の増加と共に単調に減少する。このデントの深さの相違を測定することによって、反応によって生

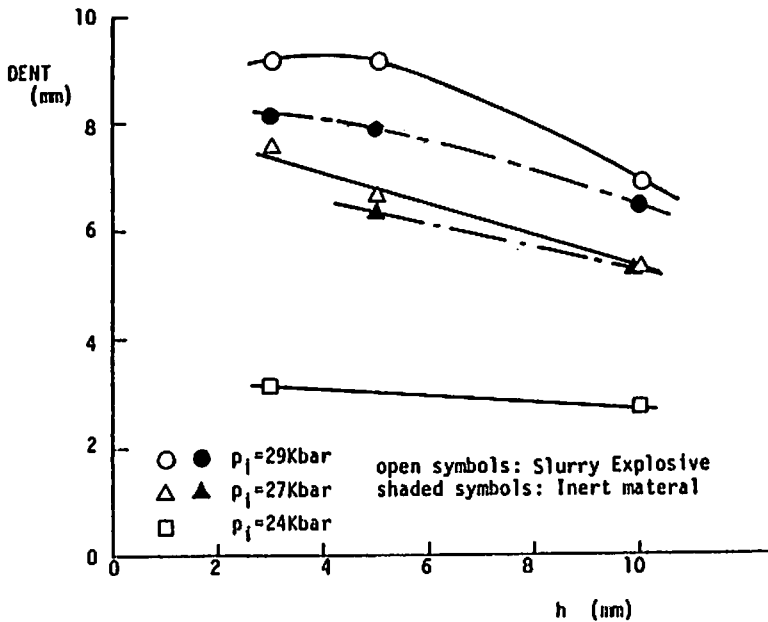


Fig. 5 Experimental results on the strength of the propagating shock vs. the height of the explosive. ($\rho_0 = 1.32 \text{ g/cm}^3$)

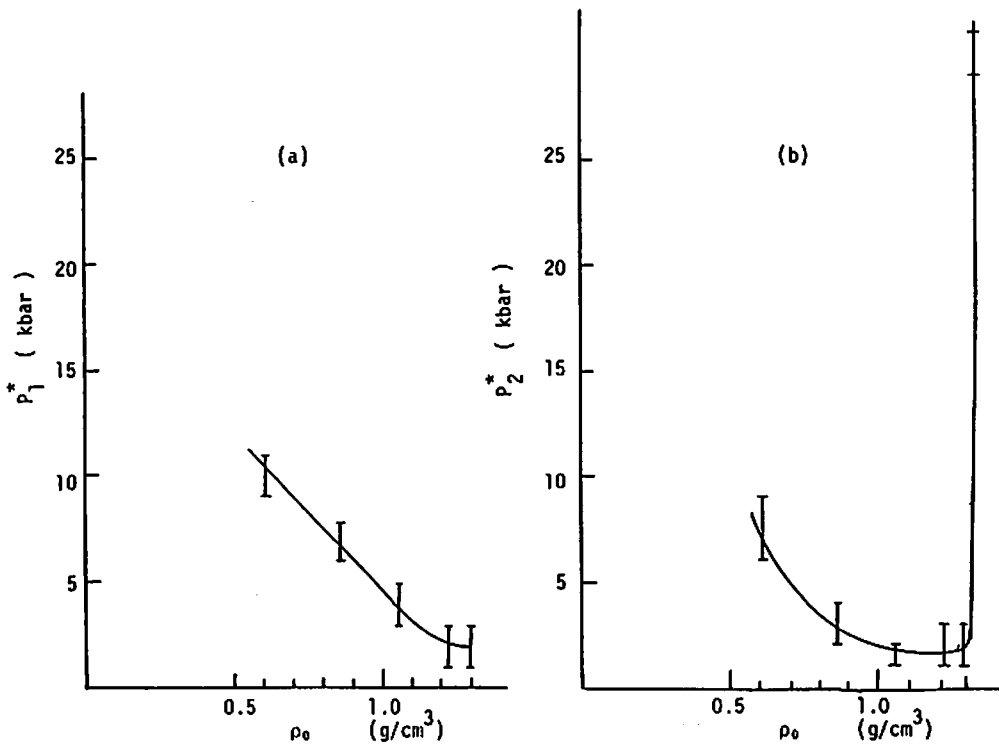


Fig. 6 Summary of the experimental results on the critical pressure for initiation.
 (a) experimental result on P_1^* (b) experimental result on P_2^*

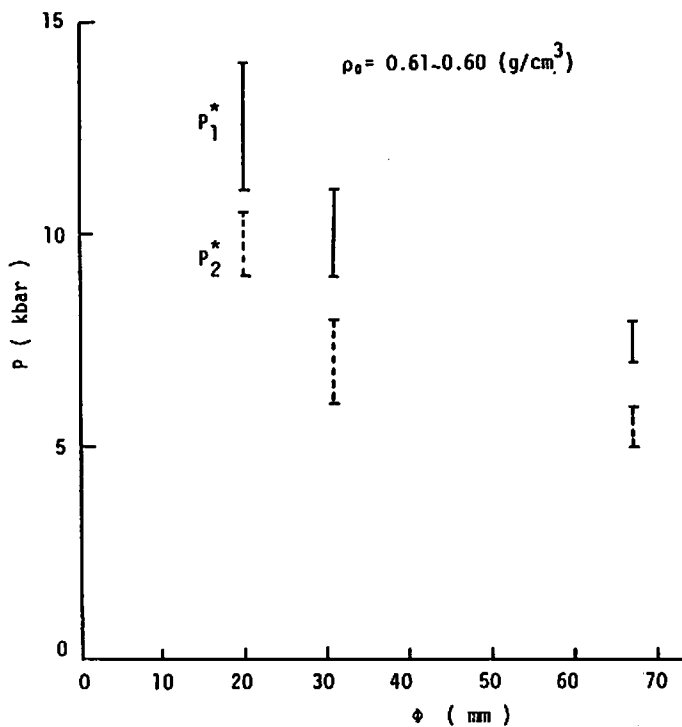


Fig. 7 The effect of the diameter of the donor explosive on P_1^* and P_2^*

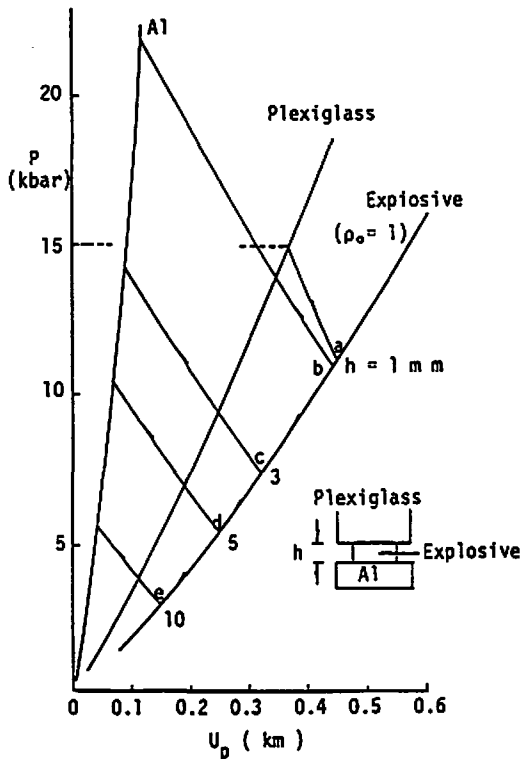


Fig. 8 Estimation of the pressure of reflected shock wave at the Al plate from the shock Hugoniot curve of Al, plexiglass and slurry explosive.

じた圧力波の強さについての情報が得られる。

入射衝撃圧が弱くなると (P''), デントの深さは爆薬の高さ h' (Fig. 3) のところで最大になり, それから h が増加するにつれて不活性物質の場合のように減少していく。これは, 反応は最初生起したが, 入射

衝撃波は自己維持型の反応を継続する程十分に強くない事を示す。入射衝撃圧力が非常に弱い時は (P''), 衝撃波は全然加速しないけれども, デントの深さは不活性物質の場合より僅かに大きい。

Fig. 3 において, 限界入射衝撃圧力 P_1^* と P_2^* は各々, 自己維持型爆発の生起と, 反応の部分的な生起に対するシキイ値と定義する。これら二つの限界起爆圧力は, 爆薬の初期密度 (ρ_0) を $0.6 \sim 1.38 \text{ g/cm}^3$ に変化させて実験的に求めた。このうち $\rho_0 = 0.6$ と 1.32 g/cm^3 についての結果を各々, Fig. 4 と Fig. 5 に示してある (ドナー爆薬の内径 31mm)。又, 爆薬の起爆に対しての得られた限界圧力 P_1^* と P_2^* の値は, Fig. 6 (a), (b) に示した。 ρ_0 が 0.6 から 1.28 g/cm^3 に増加すると, 限界起爆圧力 (P_1^* と P_2^*) はだんだん減少する。 $\rho_0 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ で起爆条件は急激に変化する, 即ち限界起爆圧力は非常に高くなる。この研究が行われた実験条件では, $\rho_0 = 1.32 \text{ g/cm}^3$ の時は, P_2^* のみしか測定出来なかった。

つぎに, これらの P_1^* と P_2^* に対しての衝撃波の薬径効果を調べた。これは, $\rho_0 = 0.61 \text{ g/cm}^3$ の爆薬について, ドナー爆薬の内径 20mm と 67mm について行った。今迄のと同様な測定を行い, P_1^* P_2^* を測定した (Fig. 7)。 Fig. 7 に示したように, 薬径効果はそれほど重要でないようである。ドナー爆薬のこれらの径に対して, 簡単にいえば, ρ_0 に対する P_1^* と P_2^* の依存性は, Fig. 6 に示したのと同じ様相を示すことが考えられる。

3. 考察

(i) 実験結果が示すように, 爆薬の衝撃に対する起爆感度は, 爆薬の初期密度 ρ_0 が高くなるに従い次第に高くなり, ある極大点 $\rho_0 \sim 1.28 \text{ g/cm}^3$ をすぎると

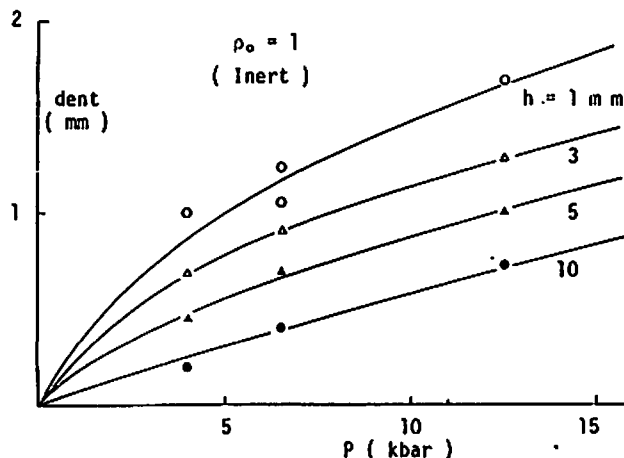


Fig. 9 The relation between the shock strength and dent for inert material.

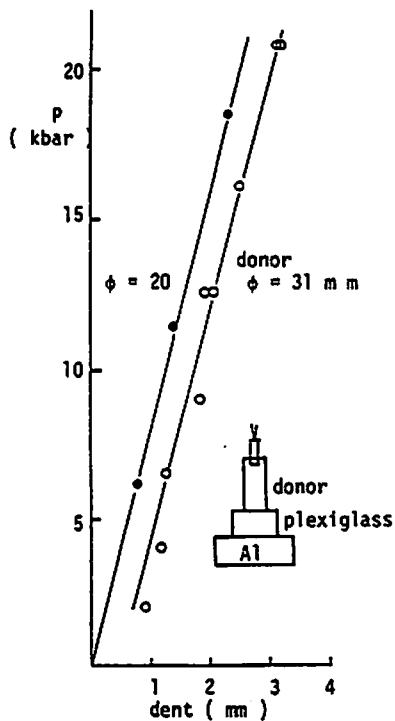


Fig. 10 The relation between the pressure of the incident shock and dent on Al plate.

急激に低下するという現象が見出された。この理由としては、爆薬中の気泡の役割に関連づけ気泡は、ホット・スポットとして反応を促進する作用と、逆に衝撃波に対して希薄波を発生し、反応を阻害する作用の相反する効果によって極大が出来ると考え、簡単なモデルを想定して解析を行った。その結果については第II報に述べる。

(ii) 本研究では、爆薬はうすい層状($h=1\sim 10\text{mm}$)で起爆され、その下端におかれたAl板のデント量で爆薬の反応程度を判定するため、ドナー爆薬の衝撃圧力が爆薬を通過し、下端のAl板での反射圧力について考察する必要がある。

Al板における反射衝撃圧力の測定は、インピーダンス整合法により求めた。Al, Plexiglass, 爆薬のショック・ウゴニオ・カーブをFig. 8に示す。それぞれの、ショック・ウゴニオ・データは $U_s = 5.38 + 1.34 U_p^{0.7}$ ($\rho_0 = 2.712$), $U_s = 2.66 + 2.0 U_p^{0.6}$ ($\rho_0 = 1.185$), 爆薬に対しては、水 ($U_s = 1.7 + 1.7 U_p^{0.5}$) と硝安 ($U_s = 2.2 + 1.96 U_p^{0.5}$) のデータを混合した重量比に相当させて用いた。なお、モノメチルアミンナイトレートは硝安として計算した。Fig. 8において、Plexiglassより爆薬に入射する衝撃圧力を15 Kbarとすると、これが爆薬中に入射した瞬間の圧

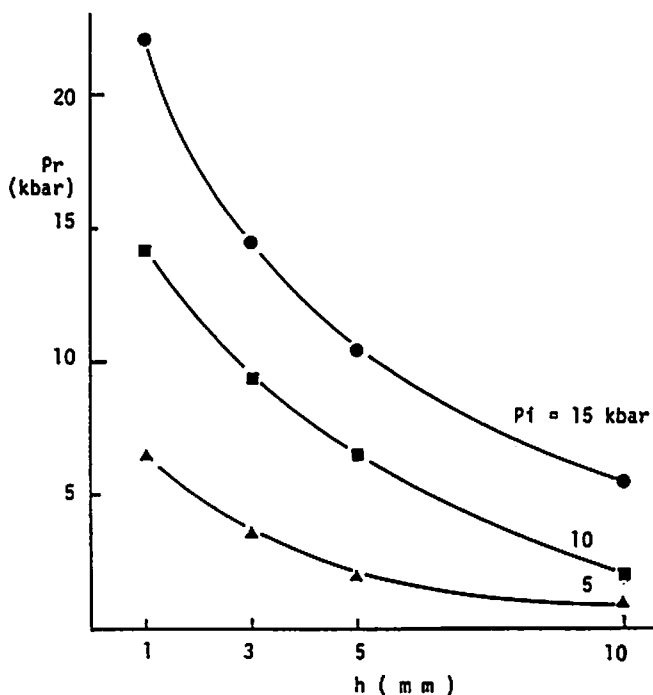


Fig. 11 Estimation of the pressure of reflected shock wave on Al plate vs. height of the explosive. (the effect of chemical reaction is not taken into account, $\phi = 31\text{mm}$)

力は、インピーダンス整合法により Plexiglass のカーブの逆の傾斜が、爆薬のカーブとの交点 a にて与えられる。この圧力は、爆薬の厚さ (h) 1, 3, 5, 10mm を進行する間に減衰し、それぞれ b, c, d, e の値となる。これらの評価は予備実験として行った。不活性物質についての、圧カーデント量の関係 (Fig. 9) 及び、Al 板に対する圧カーデント量のブランクテストの結果 (Fig. 10) より行った。この減衰した圧力は Al 面で反射する。その反射圧力を同じくインピーダンス整合法により求める。即ち、b, c, d, e 点における爆薬のカーブの逆の傾斜が Al のカーブとの交点に相当する圧力が求める反射圧力である。このようにして求めた結果を Fig. 11 に示す。Plexiglass より爆薬に入射する衝撃圧力 (P_i) が 15, 10, 5 Kbar の場合について、爆薬の厚さに対する Al 面での反射圧力 (P_r) のカーブである。これから分かる様に、爆薬の厚さが 1 mm の場合は反射圧力が入射圧力よりも高くなるが、3, 5, 10mm の場合は反射圧力は入射圧力よりも低くなる。従って、実験結果より考えても入射圧力で起爆しないで、反射圧力で起爆するような事はないと考えられる。

本研究は第12回火技奨によって行われた。ここに心からの感謝の意を表したい。

文 献

- 1) A. W. Campbell et al Shock initiation of detonation in liquid explosives. *Phys. Fluid* 4, P.498 (1961)
- A. W. Campbell et al, Shock initiation of solid explosives, *Phys. Fluid* 4, P. 511 (1961)
- J. Roth, Shock sensitivity and shock Hugoniot of high-density granular explosives. 5th Symp. on Detonation P. 219 (1970)
- 松本榮, 田中雅夫, 吉田正, 産業爆薬のギャップテスト, *工火誌*, 37, No. 4 P. 173 (1976)
- 2) 松平重勝, 伊藤功一, カードギャップテストによる含水爆薬の衝撃圧起爆感度, *工火誌*, 40, No. 2 P. 81 (1979)
- C. L. Mader, Numerical modeling of detonation Univ. of California Press (1979)
- 3) Donna Price, Contrasting Patterns in the Behaviour of High Explosives. 11th Symp. on Comb. P. 693 (1967)
- 4) 飯田稔, 藤原修三, 日下部正夫, 爆発性物質の衝撃波感度試験, *工火誌*, 33, No. 5, P. 291(1972)
- 5) T. P. Liddiard, Jr, The Compression of Poly-methyl methacrylate by Low Amplitude Shock Waves 4th. Symp. on detonation P. 214 (1965)
- 6) W. T. Halpin and R. A. Graham, Shock Wave Compression of Plexiglass from 3 to 20 Kilobars, *ibid*, P. 222
- 7) LASL Shock Hugoniot Data. Stanley P. Marsh Univ. of California Press (1980)
- 8) R. S. Bradley, High Pressure Physics and Chemistry 2, Academic Press (1963)
- 9) John O. Erkman and David J. Edwards. Computed and Experimental Hugoniot for Unreacted porous High Explosives. 6th Symp. on detonation P. 266 (1976)

Shock Wave Initiation of the Slurry Explosive (I)
Experiment on the Initiation Pressure

by Kuniaki YONEDA*, Tetsuro ASABA*, Hiroyuki MATSUI*
and Eiji YOSHIDA**

Shock initiation of a slurry explosive composed ammonium nitrate, monomethylamine nitrate dissolved into water has been studied experimentally. Shock sensitivity of the explosive was measured by a method so called gap-test. In this experiment, the limit of shock pressure for initiation of chemical reaction and for the explosion was measured as a function of initial density ρ_0 . The experimental result showed that the explosive was the most sensitive when the density of the explosive was 1.2~1.3 g/cm³. At higher density ($\rho_0 > 1.3$ g/cm³), the initiation pressure increases drastically, while at lower density ($\rho_0 < 1.2$ g/cm³) the initiation pressure decreases gradually as ρ_0 increases.

(*Dept. of Reaction Chemistry, Univ. of Tokyo

7-3-1 Hongo Bunkyo-ku Tokyo 113 Japan

**Asahi Chem. Ind. Ltd. Explosives plant

304 Mizushiri-cho Nobeoka 882 Japan)
