

## 微小爆発による尿路結石の破碎（第6報）

飛しょう体型破碎器

生沼仙三\*, 椎野和夫\*, 田中一三\*

爆薬を駆動源として飛しょう体を打ち出し、結石に衝突させて破碎する方式の破碎器を開発した。従来のアジ化鉛入り破碎器で穿孔発破を行った時とほぼ同等の破碎力があることが認められた。

### 1. 緒言

筆者らは数年前から微小爆薬による尿路結石の破碎について検討<sup>1)~3)</sup>を行い、膀胱結石については、すでに破碎器<sup>4)~6)</sup>の開発を終え、現在臨床実験を行っている段階である。

この破碎器は、爆発力が前方だけに加わるようにしようぶな細いステンレス鋼管の先端にアジ化鉛を充填し、その後に着火装置を組込んだ構造のものである。これは尿道より膀胱内に挿入した内視鏡に装着し、その先端を結石表面に密着させて発破する、はりつけ発破用として開発したものであるが、大きい膀胱結石になるとこの方式で発破するのは困難になる。このような場合は、結石に穿孔しその中に破碎器の先端を入れて発破する、即ち穿孔発破方式<sup>4)</sup>が採用される。

実際にこれまで30例以上の臨床実験が行われ、その殆んどが穿孔発破方式である。まずこれで大きく破碎し、次いで大きい破片を更にはりつけ発破方式でこまかく破碎する方式がとられている。最近、電気ドリル方式の穿孔機で結石の穿孔が可能となったので、穿孔発破は比較的簡単に行われてはいるが、はりつけ発破方式だけで大きい結石が破碎できれば、更に結石破碎は容易になるはずである。

破碎器の装填薬量を多くすれば、はりつけ発破方式でも大きな結石を破碎することができるが、従来の破碎器構造のものでは、10mgが限度で、これ以上になると破碎器の管体が破裂したり、また発破の際に生ずる衝撃波等による副作用が顕著になり、実用し得ない。

それで、爆薬のエネルギーをより有効に使って微量の爆薬で大きい結石を破碎するため、爆薬を駆動源とし

て飛しょう体を打ち出し、結石に衝突させて破碎する方式の破碎器（飛しょう体型破碎器と言う）を試作し、性能を検討した。

### 2. 破碎器の構造と性能試験方法

#### 2.1 破碎器の構造

飛しょう体系破碎器は、外径3mm内径2mm長さ20mmのステンレス鋼管（SUS-304）の先端にスタンドオフ（空間部）を設けて飛しょう体をつめ、その後には爆薬を手圧で軽く充填し、更にその後には点火玉（トリシネート0.5~0.7mg塗付）を組込んだ構造とし、外部より通電することにより爆薬を爆発させて飛しょう体を打ち出す仕組とした。この構造をFig.1に示す。この破碎器の管体の後端に誘導用のチューブをとりつけることにより、内視鏡に装着が可能になる。

#### 2.2 性能試験

モデル結石の破碎実験、飛しょう体速度の測定、鉛板へこみ試験、ストロボ光による写真観察等を行い、破碎器の性能を検討した。

##### (1) 飛しょう体速度の測定

光源から受光部に繋いだオプティカルファイバーを2本設置し、それを飛しょう体が切断する時間間隔を測定し、飛しょう体の速度を求めた。Fig.2に装置の概要を示したが、オプティカルファイバーは0.1のプラスチック製のものである。これを保持するためのガイド筒の横穴は直径0.3mmで破碎器の先端から2mm離れて3.93mm間隔に2つある。受光部には、NEC製、PH101のフォトランジスター内蔵の装置<sup>7)</sup>を用いた。

##### (2) 鉛板へこみ試験

厚さ8mmの鉛板を砂上に置き、その表面に破碎器の先端を密着させてセロテープで固定した後、破碎器に通電し、飛しょう体を衝突させ、鉛板上に生ずる凹痕の深さを測定した。

##### (3) モデル結石の破碎実験

昭和58年8月5日受理

\*化学技術研究所 保安環境化学部  
〒305 茨城県筑波郡谷田町町東 1-1  
TEL 0298-54-4785

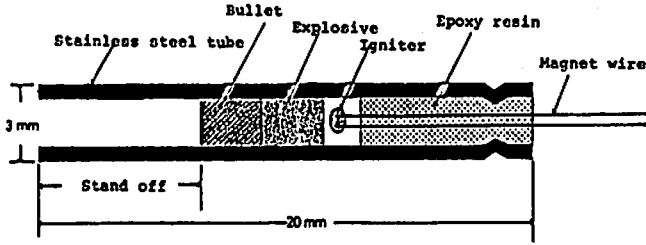


Fig. 1 Structure of the blaster.

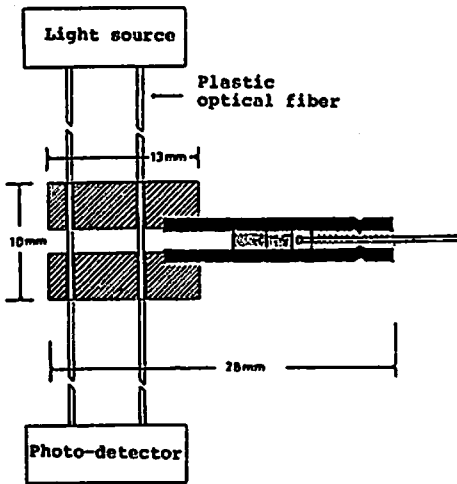


Fig. 2 Schematic diagram of a method for measuring bullet speed.

使用したモデル結石は、前報<sup>7)</sup>で述べた石こうとアクリル系水性塗料及び水を混合し、成形後7℃の水で7日間浸漬処理したもので、密度は1.57~1.60g/cm<sup>3</sup>、圧縮強度は16.9~26.5kg/cm<sup>2</sup>、 $4.2\sim 7.8\times 10^8$ dyne/cm<sup>2</sup>である。

実験の要領は前報にも述べたように細い木枠に張りつけた、厚さ5mm縦横20cmのシリコンゴムの軟かい板を水中に水平に置き、その中央にモデル結石を乗せ、結石表面の真上に破砕器の先端を当てて発破した。破砕器は重量を100gに調整した長さ30cmのステンレスパイプの先端にとりつけ、自重以外の力が加わらないようにした。

### 2.3 ストロボ光写真による観察

空中及び水中に於て、破砕器から飛び出す飛しょう体をストロボ光で瞬間撮影し、その状態を観察した。ストロボ光源には、菅原研究所製DSX-1B型を用いた。閃光時間は3~4μsである。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 駆動用爆薬の検討

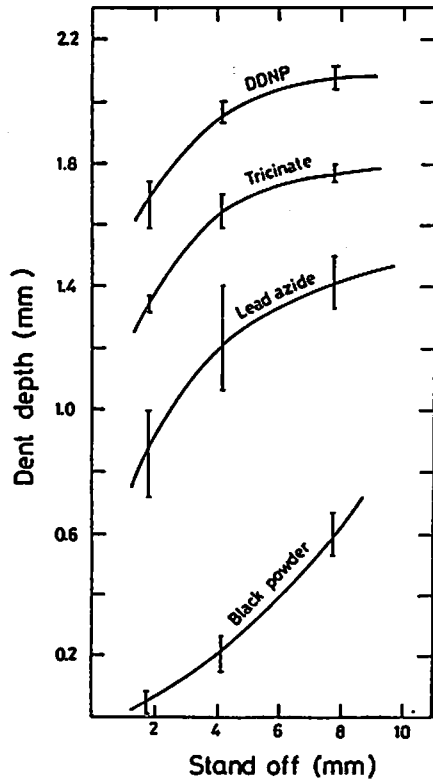


Fig. 3 Dent test result.

Brass bullet: diam. = 1.98mm, length = 1mm

Charge weight: 5mg

一般に弾丸等の発射には、黒色火薬、無煙火薬等の発射薬が用いられるが、飛しょう体系破砕器のように極端に駆動薬量が少く、駆動区間が短い場合は、微量で瞬時に爆発する起爆薬が良いように思われる。しかし起爆薬といっても、それぞれ爆性は異なるので、それらのうちどれが適当かを知るために、DDNP、トリシネート、及びアジ化鉛を駆動薬として破砕器を作り、先ず鉛板へこみ試験により性能を検討した。

飛しょう体には、直径1.98mm長さ1mmの真ちゅう円柱を用いた。駆動用爆薬量はすべて5mgとし、真

ちゅう円柱の後に手圧で軽く充填した。

実験結果は Fig. 3 に示したが、DDNP を駆動とした場合の弾痕が最も深い、即ち威力が最も大で、次いでトリシネート、アジ化鉛の順であった。黒色火薬は比較のために用いたのであるが、最も威力が小さい。スタンドオフが大きいく程、いずれも威力は大きくなる傾向が認められる。

以上の結果から、駆動薬には DDNP が最適であると思われたので、以下の実験にはすべてこれを用いることにした。

次に飛しょう体が飛び出す速度の測定を行った。駆動薬は DDNP 5mg、飛しょう体は真ちゅう円柱で、これは直径 1.98mm、長さ 1mm 3mm 及び 4mm のものである。スタンドオフは 4mm である。測定結果は Fig. 4 の通りであり、非常に速い速度で飛び出していることが判った。

試みにその速度から、運動エネルギー、及び運動量を求めて Table 1 に示したが、各種真ちゅう円柱の運

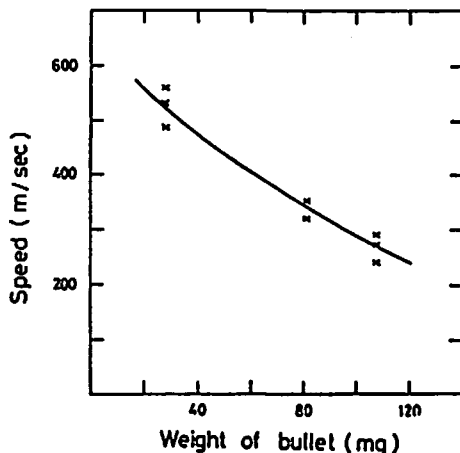


Fig. 4 Speed of brass bullets.  
Brass bullet : diam. = 1.98mm  
Stand off : 4mm  
DDNP : 5mg

Table 1 Kinetic energy and momentum of brass bullets.

Brass bullet		Speed $v$ (m/s)	Kinetic energy $\frac{1}{2}mv^2$ (J)	Momentum $mv$ (g. m/s)
Length (mm)	Weight (mg)			
1	27	525	3.7	14.2
2	54	425	4.9	23.0
3	81	340	4.7	27.5
4	108	270	3.9	29.2

Diameter of brass bullet ; 1.95 mm, DDNP ; 5mg,  
Stand off ; 4mm.

動エネルギーは、殆んど差がないことが認められる。

### 3.2 モデル結石の破砕

破砕器の性能は、上述の鉛板へこみ試験、飛しょう体の速度などで推測できるが、実際にどの程度の結石まで破砕できるかを知るには、モデル結石を使って破砕実験を行う必要がある。

実験は上述の直径 1.98mm、長さ 1mm 2mm 3mm、及び 4mm の 4 種類の真ちゅう円柱を飛しょう体とし、駆動薬の DDNP を 1mg、2.5mg、及び 5mg と薬量を変えた破砕器を用いた。スタンドオフはすべて 4mm である。

結果を整理したのが Fig. 5 である。図の横軸にはモデル結石の直径の 2 乗を、縦軸には駆動薬量を取り、白印はモデル結石が破砕されたことを示し、黒印は破

砕されなかったことを示している。破砕されたか否かの判定は、大きく二つ以上に割れた時を白印とし、飛しょう体が衝突した部分が小さく破砕されても、モデル結石が殆んど原形をとどめている時は黒印とした。破砕可能な最小限の爆薬量を線で結ぶと一つの直線になる。飛しょう体の大きさの違いによる破砕力の差は殆んど認められない。これを先の Table 1 の結果と対比すると、飛しょう体の運動エネルギーが同じならば、破砕し得るモデル結石の大きさは同じになる。

上述の破砕実験結果から、モデル結石を破砕し得る最少 DDNP 量  $L$  (mg) とモデル結石の直径  $D$  (cm) の関係式を求めると  $L=0.59D^2$  となり、例えば直径 2cm 及び 4cm のモデル結石を破砕するのに必要な最少 DDNP 量は 2.4mg 及び 9.4mg となる。

従来のアジ化鉛をステンレス管の先端に充填した破

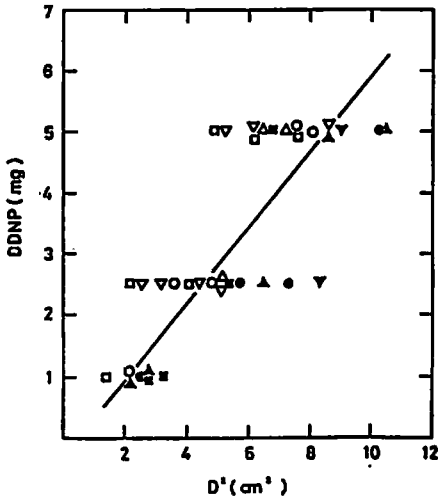


Fig. 5 Crushing of model stones by blasters with various brass bullets.

Brass bullet: diam. = 1.98mm, length = 1mm ○, 2mm △, 3mm △, 4mm □. Stand off: 4 mm.

White marks indicate that the stone was crushed, while black ones indicate that it was not.

碎器, 即ち接触型破砕器による, はりつけ発破及び中心穿孔発破の式は  $L=2.4D^{2.0}$  及び  $L=0.88D^{2.4}$  であったから, これと比べると上述の飛ばし型破砕器の発破係数は, この中心穿孔発破式の係数より小さく, したがって飛ばし型破砕器の方が破砕力大きいことになるが, 中心穿孔発破では、強度の大きいモデル結石が使われているので, 直接の比較はできない。

#### 4. 破砕器の改良とその性能

前述のように真ちゅう円柱飛ばし型が飛び出す速度は極めて速い。結石に対する破砕力が大きくても狙が狂ったり, 結石に衝突させる角度が適切でなく思わぬ方向に外れたりすれば甚だしい傷害が起らないとも限らない。しかし飛ばし中に粉状になったり, 臓器に衝突しても無害のものならば, 万一狙がはずれても大きい傷害にならないように思われる。例えば砂糖, ブドウ糖, 食塩のようなものならばよいように思われる。ここではその前段階として, 圧縮した銀粉及び硫酸バリウム飛ばし型について検討した。これらは水に溶けないので, 実験しやすいからである。

銀粉は 325 メッシュ以上の粒度のもの, 硫酸バリウムは試薬 1 級のものをを用いた。銀粉の場合は 60mg, 硫酸バリウムの場合は 20mg をそれぞれ  $470\text{kg}/\text{cm}^2$  でステンレス管中に圧填した。スタンドオフは 5mm である。

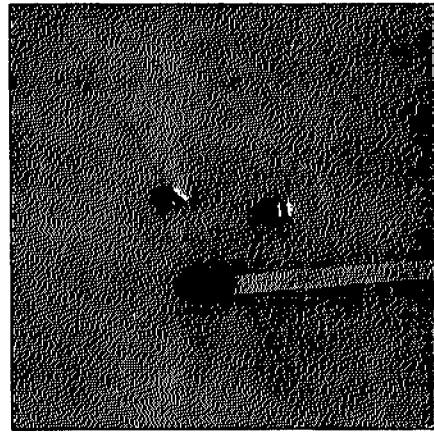


Fig. 6 Ag bullets recovered after crushing model stones.

モデル結石の破砕実験を行った結果, 銀飛ばし型の場合は破砕器の駆動薬 DDNP 量が少なかったり, モデル結石が小さかったりした時には, その破砕片中にペレット状で認められた。Fig. 6 に回収した銀ペレットを示す。硫酸バリウム飛ばし型の場合は, ペレット状のものは認められなかった。モデル結石に対する破砕力は, DDNP 5mg 以下ではこの二つの物質による差は認められなかったが, DDNP 量が 75mg になると硫酸バリウム飛ばし型は破砕力のバラッキが目立ち, 時には DDNP 量 5mg のものより破砕力が弱いことが認められた。

この実験結果は, モデル結石の直径の 2 乗と, 駆動薬の DDNP 量で整理して Fig. 7 に示した。図中, 実線が銀飛ばし型, 破線が硫酸バリウム飛ばし型による結果である。銀飛ばし型の場合, モデル結石  $D$  (cm) と, その破砕可能な最小限爆薬量  $L$  (mg) との関係式は  $L=0.75D^2$  となる。硫酸バリウム飛ばし型の場合も DDNP 5mg 以下の場合はこの式で表わされる。この式から, 例えば DDNP 5mg で破砕可能なモデル結石は直径 2.6 cm となる。この大きさのモデル結石は, 従来のアジ化鉛入り接触型破砕器 (5mg 入り) を使ったのでは数回ははりつけ発破を繰返さなければ破砕できない<sup>9)</sup>。

硫酸バリウム飛ばし型の空中及び水中に於ける飛ばし状態のストロボ写真を Fig. 8 及び Fig. 9 に示した。すべて駆動薬の DDNP は 7.5mg である。その空中写真の白い雲状に広がっているのが硫酸バリウムの粉末と爆発ガスであると思われる。水中写真の上段は, 爆発ガス球で, 先端の突出している部分が硫酸バリウムの粉末であろう。下段はその爆発ガス球が更に広が

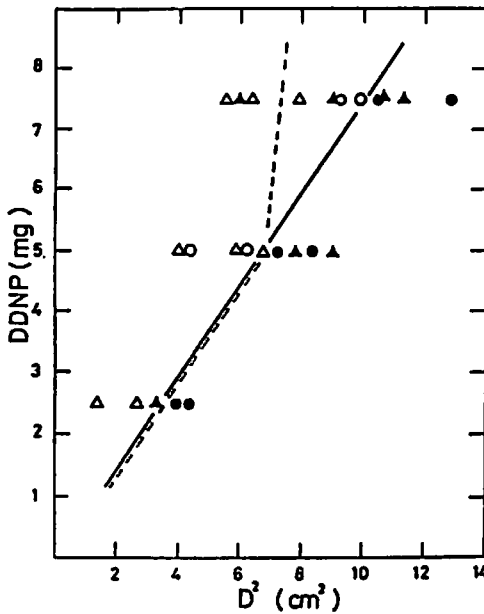


Fig. 7 Crushing of model stones by blasters with compressed  $BaSO_4$  or powdered Ag bullet. Ag bullet; 60mg;  $BaSO_4$  bullet; 20mg. White make indicate that the stone was crushed, while black ones indicate that it was not.

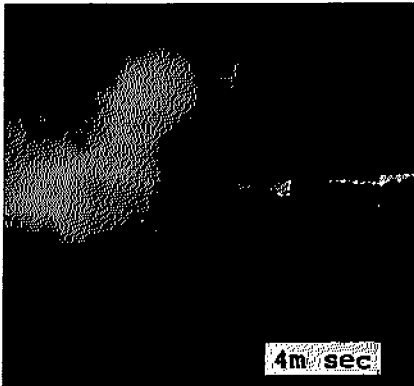


Fig. 8 Projection of a compressed  $BaSO_4$  bullet from a blaster in air. Blaster:  $BaSO_4$  20 mg, stand off 4mm, DDNP charge 7.5 mg.

った後、収縮した時の状態を示すものであり、管体上及びその先端に比較的大きい硫酸バリウム片のようなものが見られる。

このように硫酸バリウム飛しょう体が粉状で飛び出しているのに対し、銀飛しょう体はペレット状 (Fig. 6) である。この違いが上に述べた破砕実験結果に現

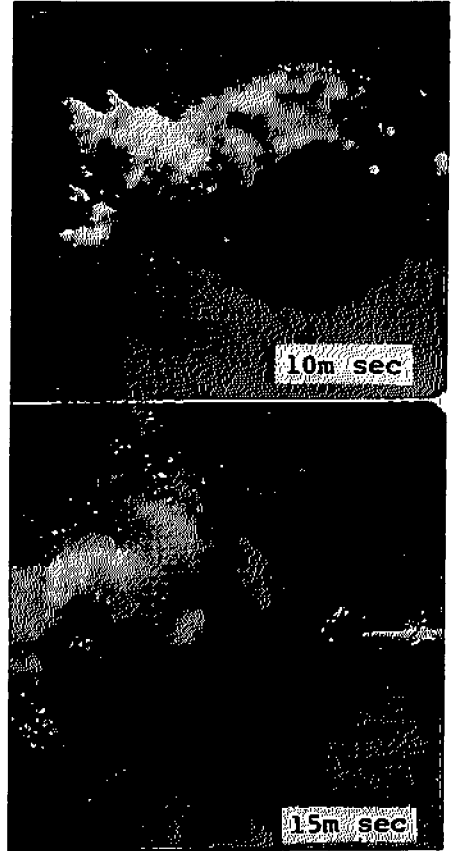


Fig. 9 Projection of a compressed  $BaSO_4$  bullet from a blaster in water. Blaster:  $BaSO_4$  20mg, Stand of 4mm, DDNP charge 7.5mg.

われているように思われる。即ち銀飛しょう体は駆動に際して粉砕されないで、爆発ガスが有効に働くのに対し、硫酸バリウム飛しょう体は材質強度が弱く、駆動中に粉砕され、特に駆動薬の DDNP 量が多くデトネーションするようになると、飛しょう体が粉砕し、そのため爆圧の利用度が悪くなり、デトネーションを起こす薬量<sup>9)</sup>即ち 5~6mg 付近を境にして破砕力の低下が生ずると言えよう。

傷害対策の面からは、前述のように飛しょう体は粉状で打ち出されることが望ましい。その点で硫酸バリウム飛しょう体はその要望に合致すると言えよう。しかし巨大結石の破砕用としては、もう少し破砕力を大きくした方がよいように思える。それには硫酸バリウム飛しょう体に粘結剤を加えてその材質強度を大きくしたり、また飛しょう体と駆動薬の間にスペーサーを設けたりして、爆発ガスが有効に作用するようになれば、目的とするものが得られるようになると思われるが、この破砕器が実用されるまでには、生体等を使っ

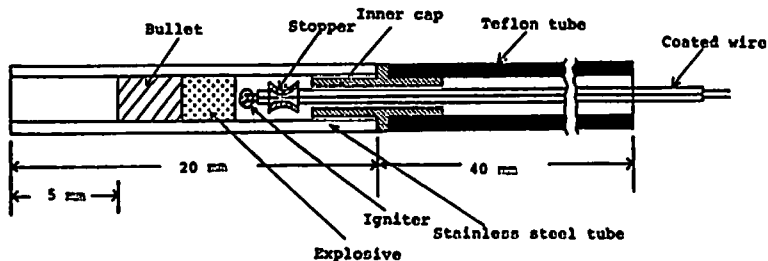


Fig. 10 Improved blaster

って数多くの実験を行う必要があるので、その検討は後日行うことにし、とりあえず生体実験にも使えるように破砕器の後端に誘導用のチューブを取りつけることにした。

しかしこれまでの破砕実験で、破砕器の後部から爆発ガスが抜けてしまうようなことが時々あったので、その点の改良と合わせて行った。Fig. 10に改良した破砕器の構造を示したが、改良の要点は、破砕器の管体を外管と内管の組合わせとし、内管には外径1.5mm内径1mm長さ2mmの鋼管からなるストッパーをカシメ方式で取り付け点火玉を装着した後、飛しょう体及び爆薬を充てんした外管の後部に挿入し、間隙にエポキシ樹脂を充填してから、側面からネジで外管と内管を固定し、その後端にテフロンチューブを取り付けた。

この固定方式を取り入れることにより、爆発ガスが後に抜け、そのために破砕力が極端に低下することが全くなり、実際に膀胱結石の破砕にも使える信頼性の高いものになった。

### 5. 結 言

外径3mm内径2mm長さ20mmのステンレス鋼管の先端にスタンドオフを設けて飛しょう体、爆薬の順につめ、その後点火玉を組込んだ飛しょう体型破砕器を試作し、その性能を検討した。

その結果、駆動用の爆薬にはDDNPが最適であり、スタンドオフを大きくとる程、威力が大になる傾向が認められた。飛しょう体に真ちゅう円柱を使った破砕

実験では、従来のアジ化鉛入りの接触型破砕器で穿孔発破を行った時とほぼ同等の破砕力が認められた。しかし飛しょう体が真ちゅう円柱では、結石からはずれて臓器等に当たった時、甚だしい傷害が起こらないとも限らないので、圧縮した銀粉、及び硫酸バリウム粉入り破砕器を試作した。駆動薬はDDNPである。その結果、銀飛しょう体はペレット状で打ち出されたが、硫酸バリウム飛しょう体は粉状で打ち出されることが認められた。

この硫酸バリウム飛しょう体を使えば、一応安全に膀胱結石が破砕できると考えられたので、生体等を使った実験がしやすいように、内視鏡に装着し得るようにした。

### 文 献

- 1) 渡辺 決, 生沼仙三, 日泌尿会誌88, 243 (1977)
- 2) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 大森正毅, 工業火薬 41, 98 (1980)
- 3) 生沼仙三, 田中一三, 椎野和夫, 化技研 75, 567 (1980)
- 4) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 飯田光明, 工業火薬 投稿中
- 5) 渡辺康介, 日泌尿会誌 74, 300 (1983)
- 6) 椎野和夫, 生沼仙三, "爆発の利用と防止(化技研成果発表会資料)" p53 (1982)
- 7) 田中一三, 松山一夫, 工業火薬 41, 360 (1980)
- 8) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 飯田光明, 工業火薬 投稿中

## Studies on Lithotripsy by Micro Explosion

### (VI) A Surgical Blaster with a Bullet

by Senzo OINUMA\*, Kazuo SHIINO\*, and Kazumi TANAKA\*

A surgical blaster consisting of a bullet, DDNP charge and an igniter was developed. It was made in the following manner. Cylindrical brass, compressed BaSO<sub>4</sub> or Ag powder was used as bullets. The bullet was loaded in a stainless steel tube which was 3.0 mm in diameter and 20 mm in length. 1.0 mg to 7.5 mg of DDNP was then charged. The electrical igniter for initiating DDNP charge was placed just near DDNP. From the result of the crush test on models of bladder stones, the blaster containing 7.5 mg of DDNP charge is expected to crush a real bladder stone which is as large as 3 cm in diameter.

(\*National Chemical Laboratory for Industry, 1-1 Yatabe-cho  
Ibaraki-ken, Japan)

---