

Fig. 1 A schematic diagram of the experimental apparatus

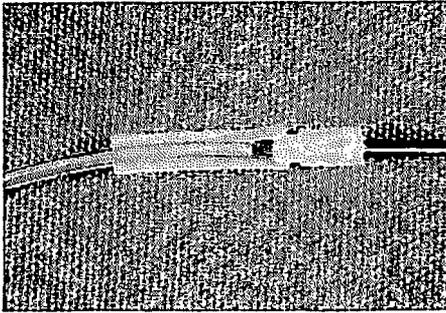


Fig. 2 Connection of the NONEL tube and a exploding wire

ギーが周囲に拡散するのを防ぐ。

### 2.2.2 高速度流し撮影

撮影に使ったノンネルチューブの薬量は20mg/mであった。爆発線とその接続方法は前述の通りである。電源には発破器(電圧1200V、容量10 $\mu$ F)を使ったが、スイッチは接点保護のため電子スイッチ式に変更してある。撮影装置は植村式回転鏡カメラで、フィルムの流し速度は535~565 m/sであった。黒く塗った背景に試料をまっすぐに固定し、カメラの流し速度が一定になってから線爆発させた。撮影は回路の抵抗を0.20, 0.63, 0.97, 1.43 $\Omega$ に変えて行った。

### 3. 結果

Fig. 3は線爆発により点火したノンネルチューブである。点火の判定は明確であった。この実験では低電圧においてスパークギャップでのエネルギー損失は無視できなくなる。また充電されたエネルギーが線爆発で全てが放出されるのではない。ここでは、ノンネルチューブが50%発火した時に消費されるエネルギーを、コンデンサー容量と充電電圧から求めた。Fig. 4にノンネルチューブの薬量とエネルギーの関係を示す。0.5 $\mu$ Fから10 $\mu$ Fの範囲では電気容量が増加するに従って消費エネルギーは減少し、10 $\mu$ Fのコンデンサーを使った時に最小値をとる。電気容量がさらに大きくなっても充電電圧はあまり低下しないため、50 $\mu$ Fでは点火に必要なエネルギーは大きくなる。また、薬量が多い方が点火感度が高い傾向を示したが、5 $\mu$ Fのコンデンサーを使ったとき20mg/mと30mg/mのチューブは共に0.40Jで点火し、10 $\mu$ Fのときは共に

0.38Jで点火した。

Fig. 5は線爆発により点火したノンネルチューブの典型的な流し写真である。最初に線爆発の発光が見られる。この直後、ノンネルチューブの発光はほとんど撮影されず、爆発線から約70mm離れてから観察が可能になる。回収したノンネルチューブの発光の弱い部分には、わずかに残留物が認められた。

Fig. 6は抵抗を変えて撮影した時間と反応面の関係である。経過時間の基点は線爆発の発光が開始した点とした。抵抗が大きくなると反応面が観察可能になるまでの時間が長くなる。流し写真より伝播速度  $V(t)$  と反応面の位置  $X(t)$  は以下のように回帰した。

$$V(t) = \frac{D}{1 + Me^{-at}}$$

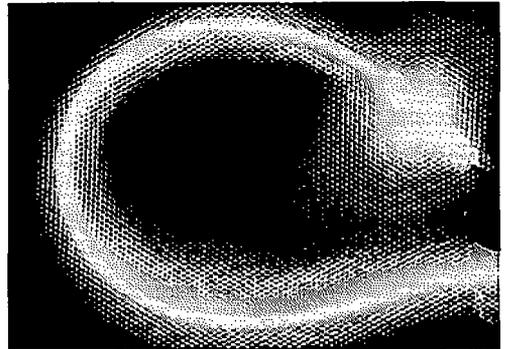


Fig. 3 The NONEL tube initiated by an exploding wire Dosage:20mg/m Potential:1200V Capacitance:10 $\mu$ F

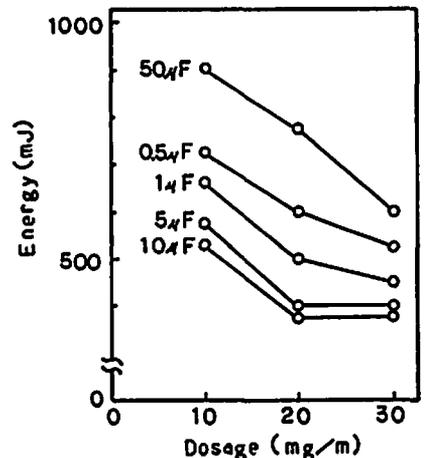


Fig. 4 Energy-dosage relationship for 50% firing

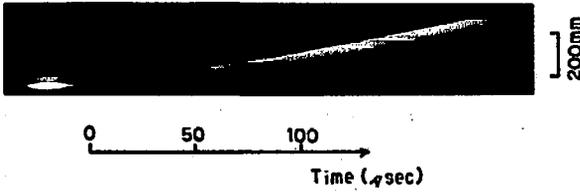


Fig. 5 A typical streak-camera record of the NONEL tube initiated by an exploding wire  
Potential: 1200V  
Capacitance: 10 $\mu$ F  
Resistance: 0.20 $\Omega$

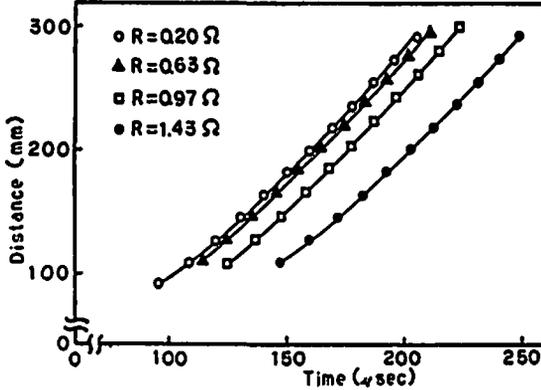


Fig. 6 Position of reaction front  
Potential: 1200V  
Capacitance: 10 $\mu$ F

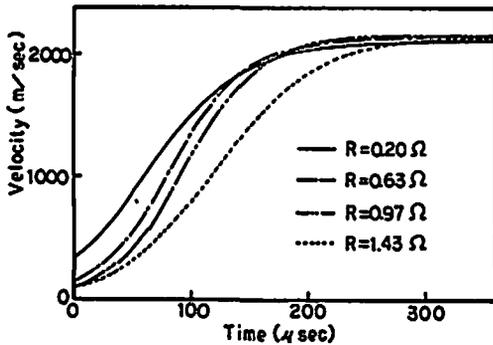


Fig. 7 Velocity inside the NONEL tube

$$X(t) = \frac{D}{a} \ln \left( \frac{1 + Me^{-at}}{Me^{-at}} \right) + C$$

ただし、 $t$ は経過時間、 $D$ は定常速度、 $M$ と $a$ は係数、 $c$ は定数である。Fig. 7に経過時間 $t$ における伝播速度 $V(t)$ を示す。定常速度 $D$ はほぼ2100 m/sであった。伝播速度が定常速度の90%に達する時間を立ち上がり時間として(1)式より求め、抵抗と立ち上がり時間の関係をFig. 8に示す。抵抗値が0.20 $\Omega$ から0.97 $\Omega$ までは徐々に遅くなるが、その後、急激に遅くなるのがわかる。立ち上がり時間における反応面の位置を(2)式より

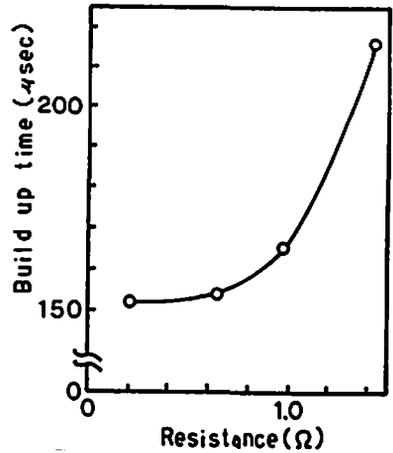


Fig. 8 Build up time-circuit resistance relationship

求めると、0.20 $\Omega$ から0.97 $\Omega$ の間ではほぼ180mmであるが、1.43 $\Omega$ では230mmであった。

#### 4. 考察

爆発線に蓄えられた電気エネルギーは、熱、光、圧力、衝撃等の形態をとって放出されるが、ノンネルチューブを点火する場合には熱エネルギーが最も重要と考えられる。Reithelは拘束された二次爆発を線爆発の熱エネルギーにより爆燃から爆轟に転移させている<sup>3)</sup>。このとき、二次爆発を瞬時に爆轟させる場合に較べ、高インダクタンス、大容量、低電圧の回路が有効としている。流し写真による伝播速度の変化からわかるように、ノンネルチューブも線爆発により爆燃から爆轟に転移しており、大容量になる程、低電圧で点火させることができた。しかし、充電するエネルギーは10 $\mu$ Fのときが最小であった。Leopoldは最適な容量は爆発線のエネルギー転換効率によるとし<sup>4)</sup>、また線爆発には適当な電流波形があることが報告されている<sup>5)6)</sup>。ノンネルチューブを点火する場合も、最適な電流波形があるものと思われる。

本実験に使用したノンネルチューブの内径は1.3mmで、HMXの粒径は20~40 $\mu$ m、Alの粒径はそれに対して無視できる。したがって、薬量が増えると薬厚は変化せず粒子密度が増えることになる。ノンネルチューブの点火感度は、爆薬の量によるものか、粒子の間隙によるものか、今後、検討していく必要がある。

実際に爆発線を使用する場合、脚線の長さや表面酸化等によって抵抗が増えることが想定される。本実験では1200V、10 $\mu$ Fの電源を用いて、1.43 $\Omega$ の抵抗でも点火している。これは脚線の長さに換算すると5m以上になる。また、多少の表面酸化なら問題にならない

いであろう。

## 5. 結 言

線爆発によるノンネルチューブの点火特性と伝播速度の変化を調べた。その結果、以下のことがわかった。

- (1) ノンネルチューブは薬量の多いものが高い点火感度を示した。
- (2) 線爆発には最適な電流波形があると思われる。
- (3) 各薬量のノンネルチューブとも10 $\mu$ Fのコンデンサーを使った時、最も効率良く点火し、最小充電エネルギーは0.38Jであった。
- (4) ノンネルチューブは線爆発により爆燃から爆轟に転移し、それに要する距離は300mm以内であった。

従ってノンネル点火システムは適当な点火回路を選

ぶことにより、爆発線で点火できることを確認した。

## 文 献

- 1) 峰 重之, 時岡忠弘, 井上博之, 西田 佑, 吉田 信生, 野口勝巳, 工火協誌, 46, 24, (1985)
- 2) 亀ヶ谷重夫, 工火協誌, 44, 275(1983)
- 3) R. J. Reithel, "Exploding Wires", Vol.4, p.305 (1968). Plenum Press. New York
- 4) H. S. Leopold, "Exploding Wires". Vol.3. p.125 (1964), Plenum Press. New York
- 5) T. J. Tucker, "Exploding Wires", Vol.3, p.175 (1964), Plenum Press. New York
- 6) H. S. Leopold, "Exploding Wires" Vol. 4 p.319 (1968), Plenum Press. New York

---

## A Study on the Initiation Properties of the NONEL Tube by Exploding Wires

by Ayumu KIMURA\*, Noubuo YOSHIDA\*, Kohji SORACHI  
Masatake YOSHIDA\*\* and Shyuzo FUJIWARA\*\*

The 50% firing energy levels of the NONEL tubes with different dosages for initiating the system by exploding wires were determined, when bridge wires were discharged from capacitors. Build up time of explosion was observed by a streak-camera.

The sensitivity of initiation increased as the amount of dosage increased. The tubes were initiated most effectively using 10 $\mu$ F capacitor. Streak-camera records indicated propagation from deflagration to detonation.

Distances for achieving stable velocity were up to 300mm.

\*Himeji Branch, Explosives Research Laboratory, Explosives Division,  
Nippon Kayaku Co., Ltd.

3903-39, Toyotomi, Himeji, Hyogo 679-21, Japan

\*\*National Chemical Laboratory for Industry Yatabe, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan