

爆発成形法について

大阪府立大学工学部 西山 卯二郎*

井上 卓**

1. 緒言

爆発成形法がわが国の一部の会社において、採用され始めたのは、今から6、7年前のことである。その当時は一部の専門家以外は、余り関心を示さなかったが、今日では一般にかなり認識され、関心も高まって来た。この成形法は、宇宙開発の盛んな国においては、非常に重要な技術となっている。たとえば、米国においては、サタンV型月ロケットの機体、その他主要部品は、木成形法により作られている。いずれ、わが国においても、宇宙工学、核工学の進展につれて、この成形法はさらに注目されることになるものと思われる。

そこで、本稿は、この爆発成形法を具体的に解説することを目的とし、最近筆者らが行なった高速度撮影の結果を中心に爆発成形の諸機構について説明したものである。なお、これに関連して、放電成形における変形機構の高速度撮影結果を示して、爆発成形と放電成形の類似性について説明した。

2. 水中爆発における諸現象

爆薬が水中で爆発した場合

×150μs
(コマ順数)

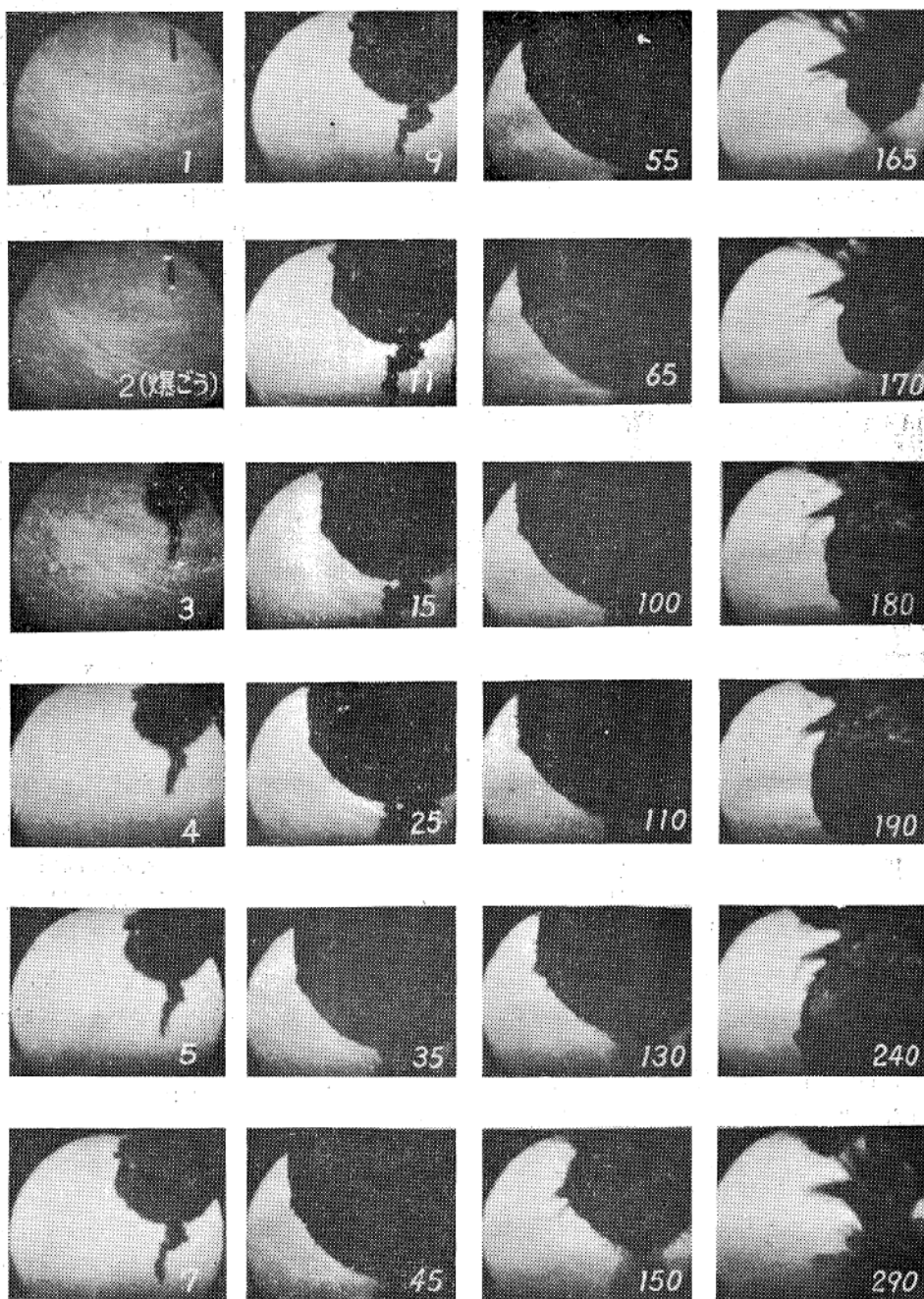


図1 6号電気雷管爆発時の生成ガス挙動(爆薬水深33mの場合)

*教授 **講師

の水中状態、特に生成ガスの挙動を調べるため、大きな水そう（直径110cm、高さ2m20cm）の側壁に、厚さ25mmの硬化ガラスを用いた窓を取り付け、これを介して、水そうの外側より、高速度撮影を行う。図1は、このような方法により、6号電気雷管の爆発時の状態を撮影したものである。図において注目すべきことは、下記のような事柄である。

- (i) 生成ガスは、膨張、収縮を繰り返し、振動すること。
- (ii) ガス体は収縮時降下運動を行うこと。
- (iii) 爆どう (detonation) の際、雷管の管体は破壊されずに残っており、ガスの膨張によって、破壊され、飛散していること。（図1において、2、3こま目）

次に、6号電気雷管が爆発した場合に発生し、伝播される圧縮波の圧力波形を調べると、図2のごとくなる。図における第1波の主要部（せん頭波形の部分）は、衝撃波である。また、第2波、第3波は、ガスの収縮から膨張に転ずる際に発生する圧縮波 (gas bubble pulse) である。

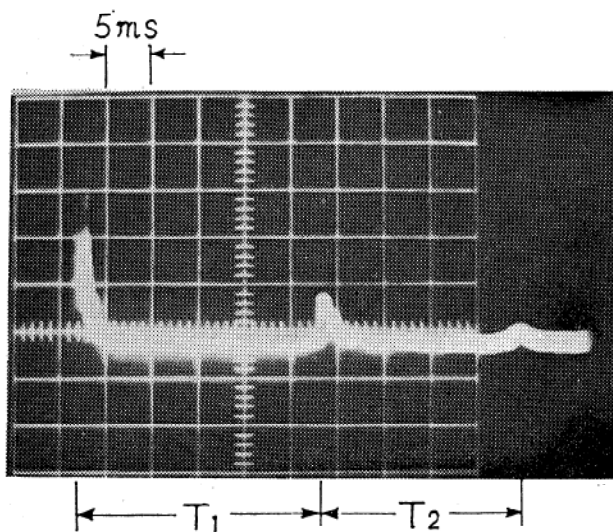


図2 6号電気雷管の爆発によって生起する圧縮波の圧力波形（横軸目盛り、1こま5ms）
 第1波：shock wave
 第2波 } gas bubble pulse
 第3波 }

ここで、図1と図2を対照すると、図1における165こま目が、図2における第2波の発射される時期に当る。すなわち、図1においても、図2においても、これらの起る時期は、爆発後、約25msのところである。このことから、ガスの振動周期の測定は、撮影によらずとも、圧力波形の方からも求めることができる。

いま、図1において、ガスの振動について考えてみる。爆薬の爆どうにより、衝撃波が発生するが、それが発生した後においても、内部エネルギーの極めて高いガスエ

ネルギーが残されている。このエネルギーによって、ガスが膨張し、水に運動のエネルギーを与えると、水は慣性によって、与えられた運動エネルギーが消失するまで運動を続ける。かくして水中には、図に見られるような球状の稀薄ガスよりなる空洞が生ずる。このガス半径が最大に達した時には、水の運動エネルギーは0となり、そのエネルギーは、完全に水のポテンシャルエネルギーに変換されたことになる。ところで、この時点においては、空洞の内圧は相当低下しているので周囲の水はこの空洞に押し寄せようとする。すなわち、水のポテンシャルエネルギーは、再び水の運動エネルギーに変換され始める。水は次第に運動速度を速め、終局にはガス体を急激に断熱過圧縮する。このような経過を経て、ガスは再び内部エネルギーを高め、遂には、再び膨張に転ずる。この膨張に転ずる際に、前述した gas bubble pulse が発射される。

以上のごとく、ガスは比較的長時間、水中において振動を繰り返す、そのエネルギーを保存することが出来る。

図2の圧力波形より、ガスの第1期振動周期 T_1 と、第2期振動周期 T_2 とを比較すると、第2期振動周期は、約10%短くなっている。これは、gas bubble pulseの発射、水の運動中の粘性摩擦等により、エネルギーを損失したためである。

ところで、図1に見られるごとく、ガスの内部エネルギーの一部は、水の排斥仕事を行うが、この仕事のために配分されるエネルギーの量 (E_0) は、ガスの第1期最大膨張半径 am を測定すれば、次式によって求めることが出来る。

$$E_0 = 4\pi a^3 m P_0 / 3$$

ただし、 P_0 は爆薬水深における静水圧

この方法により、6号電気雷管の E_0 の値を求めたところ、爆発前の全化学エネルギーの約40%となった。

一般に爆発成形における主たる成形力は、衝撃波圧力であると考えられる傾向があるが、これらは、図1のごとき圧力波形から判断しているものである。しかしながら、次章に述べるごとく、高速度撮影により、実際の成形状態を観察すれば、前述の E_0 をエネルギー源とする諸種の作用力が大きく変形に寄与している。

以上の説明を前置きとして、実際の成形状態を観察することにする。

3. 一般変形機構の観察

図3は透明なアクリル酸樹脂製の自由成形用型（内径50φ、絞り角に丸みなし）を用いて、0.3mm厚の銅板を成形する場合の変形機構を撮影したものである。

爆薬としては、6号電気雷管を使用し、爆薬距離を15

cm, 爆薬水深を15cm に保った場合の撮影結果であるが, 変形は, 時間的に見て, 大きく2段階に分かれている. 図において, 各こまの側部に示す数字は, こま順数を示す. このこま順数に従えば, 2こま目より, 6こま目の間が, 主として衝撃波による第1期変形である. 以後変形は進行しないが, ガス体は逐次素板に接近し, 160こま目に至ると, 型の上部にガス体が近づいている様子が明瞭に観察される. ところが, 163こまから166こまの間に変形は大きく増進する. この間のガスの挙動を観察すると, 163こま附近から, ガス体の下面の中央部に穴があき, ガス体の中央を下方に向かって突き抜ける噴流が起り, 素板に衝突圧を及ぼしている. しかしてこの時期は, 前述したごとく, ガス体が収縮から再膨張に転ずる時期に当り, gas bubble pulse が発生し, これがまた素板に衝突圧を加えることになる. このように噴流の衝突圧と gas bubble pulse が複合して, 第2期変形が起される. これら二種の作用力のエネルギー源は, いずれも前述のガスエネルギー (E_0) にある. ここで, 第1期変形量と第2期変形量を比較すると, 第2期変形量の方が遥かに大

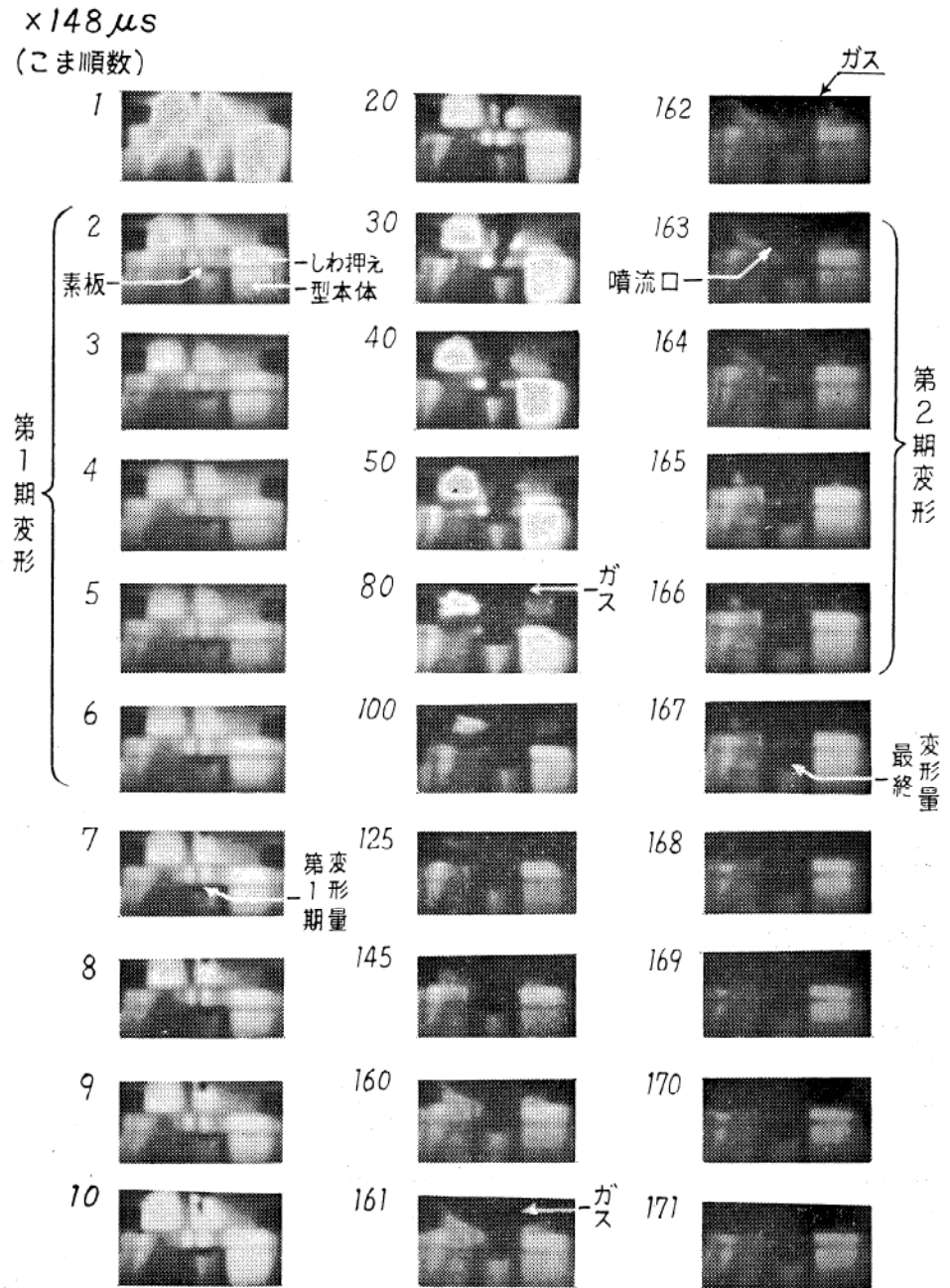


図3 爆発成形における変形機構 (自由成形)
6号電気雷管, 爆薬距離15cm
爆薬水深15cm
素板; 0.3mm厚, 80φ銅板

きい. このことは, 従来の衝撃波のみによる成形説を否定するに足る有力な資料として, 注目されねばならない.

ところで, 第1期変形と第2期変形の量的割合は, 成形諸条件によって異なる. これが最も顕著にあらわれる場合は, 爆薬水深による変形量の変化, いわゆる水深効果においてである. 図4は, この水深効果の一例を示したものである. この水深効果の起因は, 境界条件の変化によるガス挙動の変化にあり, これによって, 第2期変形量が変化するものである.

一般に爆発成形における変形量は, 爆薬距離, 爆薬水深, 爆薬量の三要素によって決る. (ただし, 広い水その場合) この場合, 第1期変形量は, 爆薬量, 爆薬距離によって決る. (衝撃波の発生, 伝播は, 水深に影響を受けないから) 第2期変形量は, 爆薬量, 爆薬距離, 爆薬水深によって決る. (ガスの挙動は, この三要素により影響を受ける.)

図3における成形条件は, 爆薬として, 6号電気雷管 (ガスの最大膨張半径は約14cm), 爆薬距離15cm, 爆

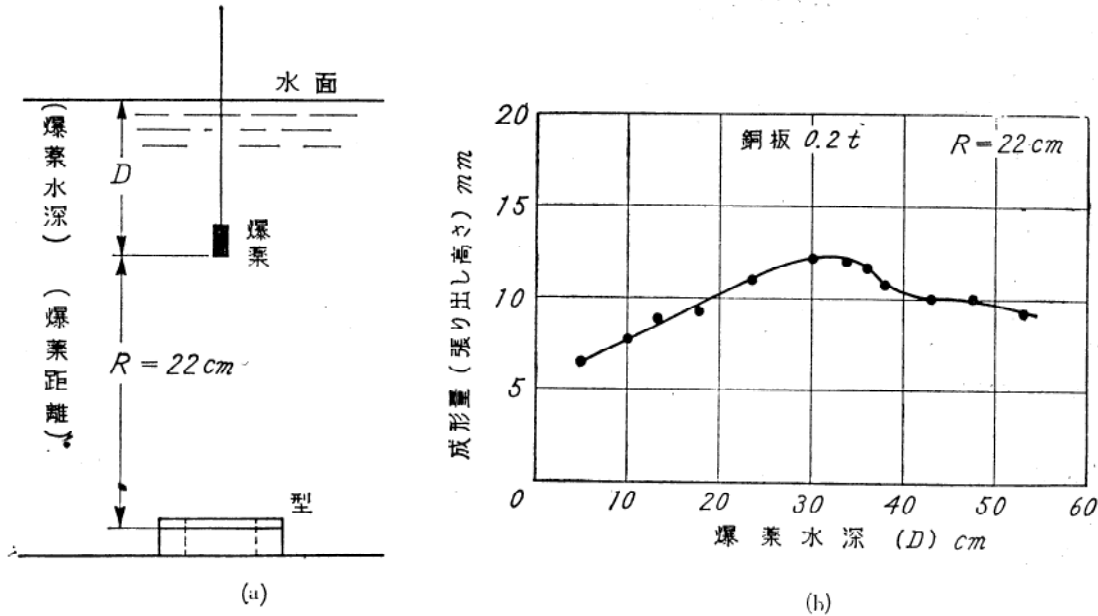


図4 水深効果の一例 (爆薬は6号電気雷管)

薬水深15cmであって、爆薬は、素板、水面間の中心部に位置し、生成ガスは水面上に噴出することはない。いま、このような条件のもとにおいて、ガス体がなぜ降下し、また噴流を生じたかについて考えてみると、これは、ガスの膨張および収縮における水の運動状態に関するものと考えられる。すなわち、膨張時における各方向への水の排斥速度、排斥量が等しきや否や、さらに収縮時において、低圧空洞に周囲の水が押し寄せると、各方向によって、流入速度、流入量が等しきや否やが問題となる。排斥速度、排斥量、流入速度、流入量が各方向すべて等しき場合は、ガス体は、左右、上下共完全に対称となり、絶えず球形を保ち得るはずである。しかるに、図3の場合のごとき境界条件においては、ガス体の収縮時、下方からの水の流入速度に比し、上方よりの流入速度が大となる。(このことは撮影実験の結果より判断したものである。写真省略)したがって、ガス体の中央部を下方に向かって貫く噴流が生じ、またガス体の中心も下方に移動することになる。このようにガス体の挙動は、水の流動状態に左右される。

以上爆発成形における一般変形機構について説明したが、ガスエネルギー(E_0)を有効に変換利用することが、今後の爆発成形法の課題であると考えられる。

4. 放電成形における一般変形機構

図5は、図3爆発成形の場合に用いた型を使用して、放電成形を行った場合の変形機構を高速撮影により調べたものである。この場合、コンデンサー容量は150 μ F、充電々圧3kvにて、直径0.18mm長さ12mmの銅線を2本並列にして放電爆発させる。また、素板、電極間距離は

11cmである。

この図において、写真側部のこま順数に従い、変形機構を説明すると、1こま目は、放電開始前の状態、2こま目は、放電、5こまより8こまの間が第1期変形、92こまより、97こまの間が第2期変形である。この場合も、爆発成形の場合と同様、第2期変形量の方が大きくなっている。ガスの挙動についても、爆発成形の場合と似ており、特に第2期変形の直前における91こま目より、ガス体下部に噴流口が形成され始めている点に注意を要する。

一般に放電成形に関しても、衝撃波により成形されるものと考え方が支配的であったが、最近では、ガスエネルギー(E_0)有効説がかなり増えて来た。この撮影結果も、これを裏付ける一資料となり得るものと思われる。

以上放電成形における変形機構について観察したが、爆発成形における変形機構と全く類似するものであることがわかった。

5. 結 言

爆発成形法にしても、放電成形法にしても、未だ歴史の浅い技術である。しかも、爆発、放電の現象は測定上の困難もあって、不明な点が多い。本稿は、最近筆者らの研究において、ある程度明確にし得た二三の事実を紹介し、説明したものであって、これをもって、爆発(または放電)成形のすべてを説明し得るものとは考えていない。

筆者らが、この研究において、最も重要と考えているものは、エネルギー変換機構の解明である。この機構を把握すれば、爆発成形法の改善も可能であり、また応用

開発も可能である。この意味において、本稿の内容が幾らかでも関係者の御参考に供し得れば、誠に幸甚である。

人事

平川鉄工所△営業担当，取締役水森繁夫（営業部長）△取締役製造部長，平川隆造（製造部長）△同総務部長，会田昭八郎（総務部長）△営業部長，安達義晴（名古屋営業所長兼務）

京都科学器械
サービス創立

島津製作所（京都市中京区河原町三条）と日本電気機材（京都市中京区西ノ京上合町）はこのほど共同出資で，科学分析機器のサービス会社「京都科学器械サービス」を設立した。両社の分析機器，精密測定器，理化学器械電子応用装置，原子力用機器などの製品を普及させるため納入，据付け，出張修理，アフターサービスなどを専門に行う。

新会社は資本金50万円，従業員約15名。なお，社長は島津洋二日本電気機材社長があたり，所在地は京都市中京区西ノ京小倉町4。

×150μs

コマ順数

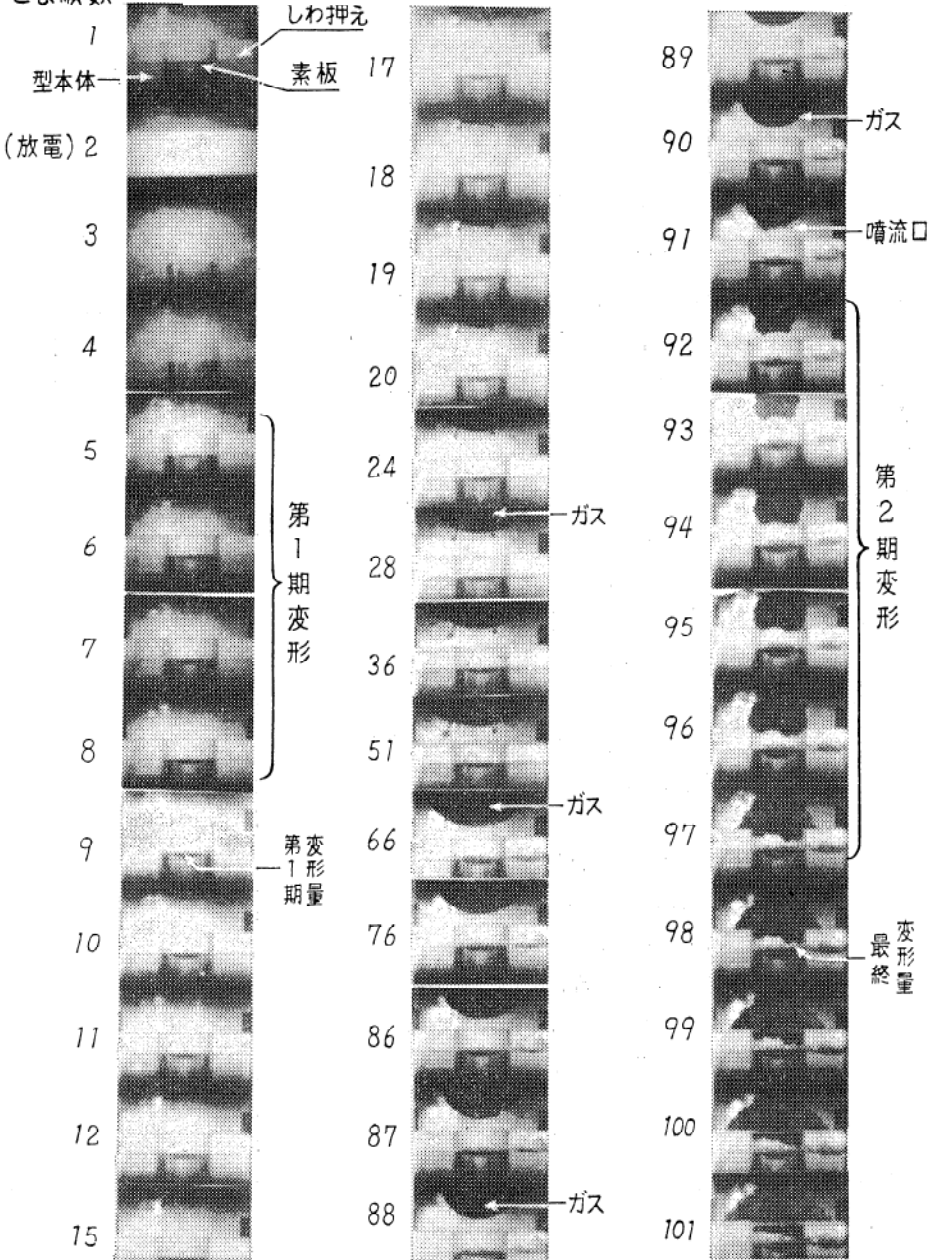


図5 放電成形における変形機構（自由成形）コンデンサー容量150μF，充電々圧 3kv，0.18φ 銅線，長さ12mm，2本並列 素板：0.3mm厚，80φ銅板