

## 温度加速試験によるエアバッグ用点火装置の発火燃焼性能評価

三宅淳巳\*, 湯川めぐみ\*, 小川輝繁\*  
木村 歩\*\*, 西田謙二郎\*\*

エアバッグ用点火装置に温度ストレスを加える加速試験を行い、発火性能および燃焼性能への影響について検討を行った。本研究では、点火薬としてジルコニウムと過塩素酸カリウムの混合物(以後、ZPPと略記)を用い、予め温度ストレスを加えたZPPを組み込んだ点火装置と、ZPPを組み込んだ後に温度ストレスを加えた点火装置の2種類を試験対象とし、up and down法による発火確率50%の通電電流値、密閉容器燃焼試験による発火遅れ時間および最大到達圧力の測定を行った。

この結果、温度ストレスを加えることにより、点火装置の発火性能および燃焼性能が低下することが確認された。この温度ストレスの影響は、ZPPを組み込んだ後に温度ストレスを加えた点火装置よりも、予め温度ストレスを加えたZPPを組み込んだ点火装置の方が顕著であった。

また、温度ストレスを加える前後の試料について粉末X線回折による定性分析を行ったところ、温度ストレスを加えたZPP中のジルコニウムは酸化が進行していることが確認され、これが点火装置の性能低下の一因となっているものと考えられた。

### 1. 緒言

エアバッグシステムは、自動車衝突時の人命救護装置であり、近年アメリカでは着用が義務づけられ、日本でも急速に普及してきた。この中で、衝突時にセンサーからの信号を受けてガス発生剤に着火する点火装置は、システムを動作させる役割を果たすため、高い作動信頼性が要求されると同時に、この性能が自動車の使用期間中に亘り維持される必要がある。しかし、点火装置は自動車の使用に伴って温度や湿度変化、振動、衝撃など様々な環境に曝される可能性がある。従って、長期間に亘って作動信頼性を保証するためには多大な時間と費用を要する各種の試験を実施する必要があるが、実際のエアバッグシステムの一般的な使用期間である10~15年といった長期間の試験を行うことは事実上困難である。そこで、実用的かつ経済的に

信頼性を確認する方法として、試験対象にストレスを加えて劣化を促進し、短期間の試験で通常の使用環境での寿命や性能の低下を予測する加速試験が重視されている<sup>1~3)</sup>。

現在、エアバッグ用点火装置に関しては、高温劣化試験、温度サイクル試験、湿度試験、振動試験などの環境試験が既に行われており、特に温度に関する試験には加速試験が用いられている<sup>4~6)</sup>。しかし、現行の加速試験では温度や時間などの設定条件の理論的根拠が必ずしも明確ではなく、実際の使用環境との対応が十分に示されていないのが現状である。

本研究では、最も典型的な環境ストレスとして温度ストレスを選択し、これがエアバッグ用点火装置の発火性能と燃焼性能に及ぼす影響について実験的検討を行った。また、温度ストレスを加える前後の試料について粉末X線回折による定性分析を行い、発火燃焼特性の変化に及ぼす試料の変化について知見を得たので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験対象

点火薬として、純度99.9wt.%, 平均粒子径2.2 $\mu$ mの粉末ジルコニウム(以後、Zrと略記)と純度99wt.%以上で、90%以上が100メッシュパスの粉末過塩素酸カ

1998年2月24日受理

\*横浜国立大学工学部物質工学科  
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5  
TEL 045-339-3993  
FAX 045-339-4011

\*\*日本化薬(株)姫路工場  
〒679-2123 姫路市豊富町豊富3903-39  
TEL 0792-64-3001  
FAX 0792-64-0003

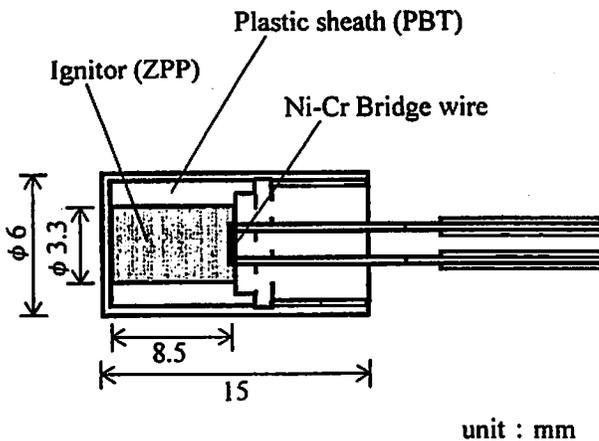


Fig. 1 Schematic drawing of the ignition device for airbag system (PBT: Polybutyrene terephthalate)

リウム(以後、 $KClO_4$ と略記)の混合物(以後、ZPPと略記)を用いた。混合比は化学量論組成である $Zr/KClO_4 = 2/1$ (モル比)であり、これにバインダーとして窒素含有量11.7wt.%のニトロセルロース(以後、NCと略記)を外割で約0.2wt.%添加してある。

実験対象はこのZPP165mgを組み込んだ電気式点火装置であり、その概略図をFig. 1に示す。点火装置が発火する際には、まず電熱線第1種相当のニッケルクロム製ブリッジワイヤへの通電によりブリッジワイヤが発熱し、この際のジュール熱によりZPPが(1)式に従って発火する<sup>7,8)</sup>。



ここで、点火装置への温度ストレスの影響は、点火薬剤ZPPへの化学的な影響と、構成部品の変化による物理的な影響の2つに大別して考えられることから、ZPPのみへの影響と点火装置自体への影響を区別して調査するため、以下に示す2種類の点火装置A、Bを試験対象とした。

点火装置A：予め温度ストレスを加えたZPPを組み込んだ点火装置

点火装置B：予めZPPを組み込んだ後、温度ストレスを加えた点火装置

尚、温度ストレスを加えていない点火装置の試験結果を基準として、点火装置A、Bの結果を比較し、温度ストレスの影響を調査した。

## 2.2 温度ストレス条件

本研究で設定した温度ストレス条件として、環境温度は105、150、180℃の3レベルとし、ZPPまたはZPPを組み込んだ点火装置を、いずれも空気雰囲気中でそれぞれの温度に200時間または500時間設置した後に取り出し、デシケータ内で常温まで放冷した。そ

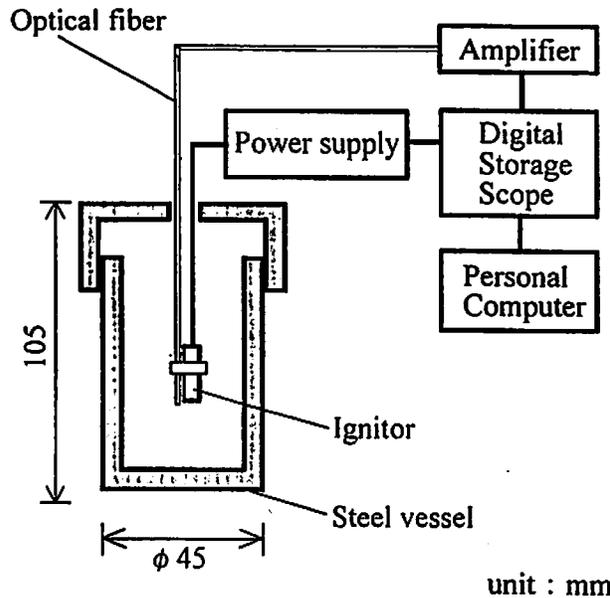


Fig. 2 Experimental set-up of the ignition sensitivity test

の後、点火装置に組み込んでいないZPPについてはこれを点火装置に組み込み、各性能試験を実施した。ここで上記の環境温度は、予備試験として実施した断熱型暴走反応測定装置(ARC)によるZPPの熱的測定により、140℃付近で微小な発熱が確認されたことから、140℃未満の温度として105℃を、140℃を越える温度として150℃を、さらに、エアバッグの環境温度としては十分に高いと考えられる温度として180℃を、それぞれ選択した。

## 2.3 点火装置の性能試験

点火装置に要求される性能として、装置に与えられたある一定のエネルギーにより一定時間内に確実に発火すること(発火性能)、およびガス発生剤に着火するのに十分なエネルギーを放出すること(燃焼性能)が挙げられる。そこで本研究では、基準の点火装置および点火装置A、Bについて以下に示す試験を行い、得られたパラメータから発火性能と燃焼性能を検討した。

### (1) 発火性能試験

用いた実験装置の概略をFig. 2に示す。点火装置を鉄製容器内に設置し、設定したレベルの電流をブリッジワイヤに3ms通電し、同容器内に設置した光ファイバーにより発火の有無を確認した。点火装置への通電は、定電流発生装置(菊水電子工業(株)製PAX16-20)で制御し、光ファイバーからの信号をデジタルストレージスコープ(岩通電子(株)製DA-6121A)およびパーソナルコンピュータ(EPSON社製PC-386GE)に取り込んだ。得られたデータは以下に述べるup and down法に従って整理した。

ブルーストン法によるup and down法は、火工品に

ついて、比較的少ない実験回数で精度よく発火感度が求められるのが特徴である<sup>9)</sup>。ここでは、電気式点火装置について得られるデータが正規分布に従うと仮定し、up and down法により統計的手法を用いて発火確率が50%となる通電電流値( $I_{50}$ )を求めた<sup>10~12)</sup>。まず点火装置に定電流を一定時間通電し、発火すれば電流値を所定量下げ、発火しなければ所定量上げる操作を繰り返して行く。得られたデータから、発火回数または不発火回数のうち少ない方を $N$ 、試験の際に設定した電流値を小さい順に $0, 1, \dots, j, \dots, k$ とし、それぞれの電流値での発火または不発火の回数を $n_0, n_1, \dots, n_j, \dots, n_k$ と表す。これらの値を用いて $I_{50}$ 値、標準偏差( $\sigma$ )をそれぞれ(2), (3)式より求めた。

$$I_{50} = c + d(A/N \pm 1/2) \quad (2)$$

$$\sigma = 1.62d \{ (N \cdot B - A^2) / N^2 + 0.029 \} \quad (3)$$

ただし、(2)式第2項においては、発火回数を $N$ としたときは負、不発火回数を $N$ としたときは正の符号を用いる。また、(2), (3)式中の各値については、 $A = \sum (j \cdot n_j)$ 、 $B = \sum (j^2 \cdot n_j)$ 、 $c$ は最小の電流値、 $d$ は電流値増減の際の刻み幅を表す。

ここで、 $I_{50}$ 値は点火装置が50%の確率で発火するのに必要な電流値であり、発火しやすさ、すなわち発火性能の指標となる。本研究では、up and down法に従い、 $d=0.02$ Aとして、各条件につき25~30回ずつ繰り返し実験を行った。次に、発火した回数を $N$ として上記の計算を行い、 $I_{50}$ 、 $\sigma$ を求めた。さらに、これらの値を基に、実験におけるサンプリングエラーを考慮し、 $t$ 分布を用いて信頼度95%を有する発火確率99.9%の電流値として $I_{99.9}$ 値を求めた<sup>9,10)</sup>。

## (2) 10cc密閉容器試験

密閉容器試験は密閉容器中に設置した物質を着火、爆発し、その際に発生する圧力の時間変化を測定することにより燃焼、爆発の激しさを評価する試験法である。密閉容器試験は火工品用の点火薬や推進薬などの性能評価に広く用いられているが、統一された規格はなく、使用目的により装置の形状や試験方法に違いがある<sup>13)</sup>。

本研究では、点火装置の性能評価に用いるために製作した内容積10.0ccのSUS304製密閉容器を用いて実験を行った。実験装置の概略をFig. 3に示す。密閉容器内に点火装置を設置し、定電流発生装置(菊水電子工業(株)製PAX16-20)を用いて、点火装置の発火に十分なエネルギーである1.0A、3.0msの電流を点火装置に通電し、発火の際の圧力挙動を圧力センサー(PIEZOTRONICS社製PCB101A02)でとらえ、そこからの信号をデジタルストレージスコープ(岩通電

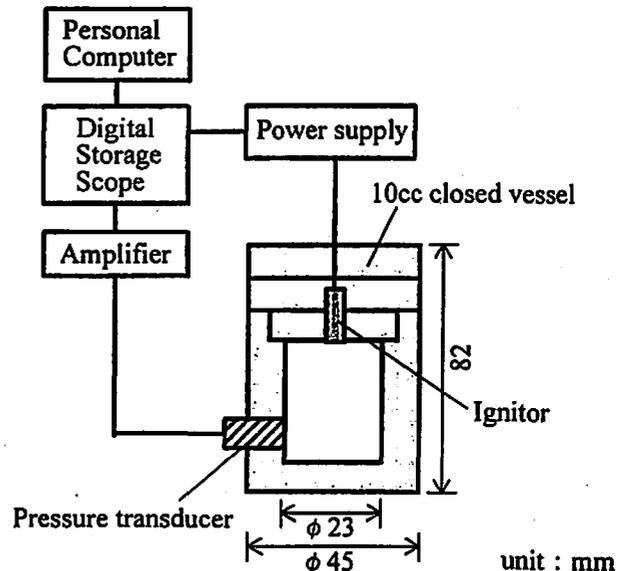


Fig. 3 Experimental set-up of 10cc closed vessel test

子(株)製DA-6121A)およびパーソナルコンピュータ(EPSON社製PC-386GE)に取り込んだ。また、発火性能を表すパラメータとして、通電開始時から圧力上昇開始時までの発火遅れ時間( $t_d$ )、燃焼性能を表すパラメータとして最大到達圧力( $P_{max}$ )、および発火してから圧力が最大値に到達するまでの圧力上昇時間( $t_{P_{max}} - t_d$ )を測定した。ここでは、各条件の点火装置につき10回ずつ実験を行い、それらの平均値により評価を行った。なお、本計測系における時間分解能は5  $\mu$ sである。

## 2.4 粉末X線回折によるZPPの定性分析

温度ストレスの影響によるZPPの組成変化を調査するため、温度ストレスを加える前の基準試料と温度ストレスを加えた後のZPP各試料の組成について、粉末X線回折装置(理学電機(株)製RIGAKU RINT1100V)を用いて定性分析を行った。ただし、一旦装置に組み込んだZPPを、装置を分解して取り出して分析することは安全上問題があるので、ここでは空気雰囲気中で各温度ストレスを加えた試料について、点火装置に組み込む前に分析を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 発火性能に及ぼす温度ストレスの影響

Up and down法による発火性能試験から得られた $I_{50}$ 、 $\sigma$ 、 $I_{99.9}$ 値をTable 1に、また、 $\sigma$ を考慮した $I_{50}$ 値の温度ストレスに対する影響をFig. 4に示す。ここで、温度ストレス付加時間がゼロのものは環境温度に関わりなく基準試料と同等の値を示すはずであるが、各温度レベル毎に同一ロットの試料を作成し、一連の測定を実施したため、若干値が異なっている。以下、他の実験でも同様の取り扱いをした。

Table 1 Results of ignition sensitivity test and calculated values with the up and down method

Igniter	Temperature level [°C]	Aging time [hr]	$I_{50}$ [A]	$\sigma$ [A]	$I_{99.9}$ [A]
A	105	0	0.70	0.037	0.90
		200	0.71	0.029	0.95
		500	0.80	0.057	1.32
	150	0	0.67	0.017	0.76
		200	0.79	0.014	0.96
		500	0.85	0.019	0.95
180	0	0.68	0.038	0.89	
	200	0.83	0.034	1.03	
	500	1.00	0.042	1.27	
B	105	0	0.70	0.037	0.90
		200	0.80	0.033	0.99
		500	0.89	0.027	1.04
	150	0	0.67	0.017	0.76
		200	0.90	0.028	1.06
		500	0.85	0.018	0.94
	180	0	0.68	0.038	0.89
		200	0.71	0.022	0.85
		500	0.76	0.038	1.02

$I_{50}$  : 50% ignition current calculated with up and down method  
 $\sigma$  : Standard deviation  
 $I_{99.9}$  : 99.9% ignition current calculated with up and down method

Fig. 4より、いずれの点火装置についても、温度ストレスの付加により $I_{50}$ 値は上昇し、発火性能は低下することが分った。点火装置Aに関しては、環境温度が高いほど発火性能の低下が大きく、今回の実験条件中、最も温度ストレスの大きい180°C×500時間の場合には $I_{50}$ 値は0.7A前後から1.0Aへと4割程度の増加を示した。また環境温度が同じ場合を比較すると、時間の経過に伴って発火性能の低下の度合いが増加するという結果が得られた。

点火装置Bに関しても同様に、温度ストレスの付加による発火性能の低下傾向が確認された。ここで150°C×200時間の時の値が500時間の時の値よりも高くなっているのは合理的ではなく、また、データのばらつきを示す $\sigma$ や後述する燃焼性能試験データも他の条件の値と同等であることから、測定系に何らかの支障があったものと考えられ、以降の考察からは除外することにする。

一方、 $I_{99.9}$ 値は通常、全数発火電流と呼ばれ、 $I_{50}$ と $\sigma$ を基に実験データのばらつきを考慮して算出される

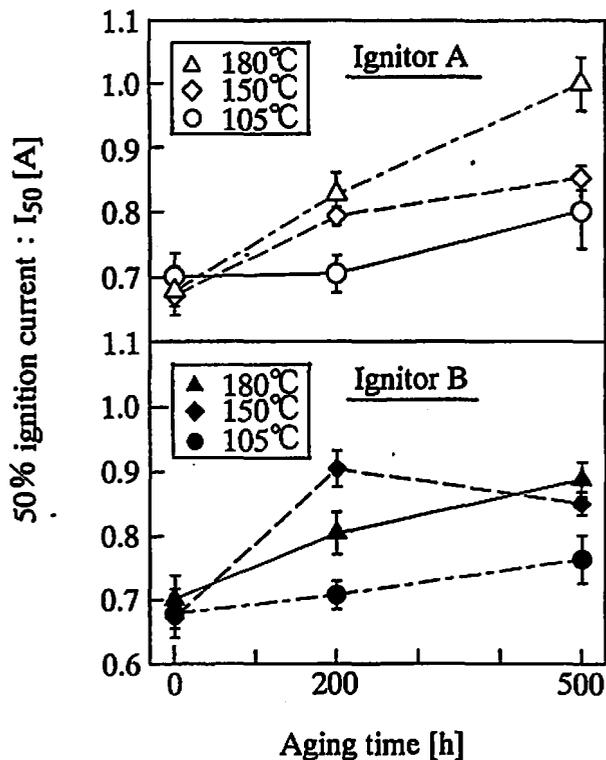


Fig. 4 Influence of the thermal stress on the 50% ignition current calculated with the up and down method (Error bars indicate standard deviations)

値であるため、実際の製品の作動信頼性を評価する指標とされている。 $I_{99.9}$ 値は $\sigma$ の値に大きく左右されるため、例えば点火装置Aの105°C×500時間の値は、同じ点火装置の他の温度のそれに比べて大きくなっている。しかし、全体として、Table 1に示した標準偏差 $\sigma$ の値に温度ストレスに対する明確な相関は見られなかったことから、温度ストレスの影響で発火性能は低下するが、与えられたエネルギーに対する感度という点からみた発火性能のばらつきは、各点火装置について同程度であると考えられる。

10cc密閉容器試験における発火遅れ時間も発火特性を表すパラメータの1つであり、これより得られた $t_d$ ,  $t_{P_{max}} - t_d$ の値を $P_{max}$ 値とともにTable 2に、10回の測定 of 最大値と最小値を考慮した $t_d$ 値をそれぞれFig. 5に示す。Fig. 5より、点火装置Aに関しては環境温度が180°Cの時に $t_d$ 値が上昇し、発火性能の低下が顕著であった。特に温度ストレスが180°C×500時間のときの $t_d$ 値は、他条件では2ms前後であるのに対し、6ms以上となり、またデータのばらつきも他条件の場合と比較して極めて大きく、温度ストレスの影響が顕著に現れた。これに対し、点火装置Bに関しては温度ストレスの影響はほとんど見られず、 $t_d$ 値は基準試料と同等のほぼ一定の値を示した。このように点火装置の種類により温度ストレスの影響に大きく異なる

Table 2 Results of 10cc closed vessel test

Igniter	Temperature level [°C]	Aging time [hr]	$t_d$ [ms]	$t_{P_{max}} - t_d$ [ms]	$P_{max}$ [MPa]
A	105	0	1.81	0.17	8.53
		200	1.84	0.16	8.36
		500	1.97	0.14	9.09
	150	0	1.39	0.16	8.60
		200	2.01	0.21	7.69
		500	2.61	0.24	6.47
	180	0	1.52	0.18	8.64
		200	2.85	0.26	6.70
		500	6.87	0.35	5.15
B	105	0	1.81	0.17	8.53
		200	2.10	0.20	8.22
		500	2.30	0.18	8.79
	150	0	1.39	0.16	8.60
		200	2.31	0.17	8.75
		500	1.98	0.17	8.57
	180	0	1.52	0.18	8.64
		200	1.94	0.16	8.40
		500	1.82	0.18	8.80

$t_d$  : Ignition delay time

$t_{P_{max}} - t_d$  : Time from ignition to maximum pressure

$P_{max}$  : Maximum pressure

傾向が現れた原因は、温度ストレスを加えた際の雰囲気条件の相違にあると考えるのが妥当である。すなわち、既に指摘されているように、空气中酸素や $KClO_4$ の分解で発生した酸素によるZrの酸化<sup>14~16)</sup>などによるZPPの化学的組成の変化が考えられる。ZPPの組成分析による劣化の検討については3.3に述べる。

以上より、いずれの点火装置も温度ストレスにより発火性能が低下することが明らかとなった。特に点火装置Aの発火遅れ時間については、温度ストレスの影響が顕著に現れ、主に点火薬剤であるZPPの化学的な変化に由来するものと示唆された。

### 3.2 燃焼性能に及ぼす温度ストレスの影響

Table 2より、反応速度の指標と考えられる圧力上昇時間( $t_{P_{max}} - t_d$ )については、点火装置Bに関しては温度ストレスの影響は見られなかったが、点火装置Aに関しては環境温度150, 180°Cの時に増加し、燃焼性能の低下が確認された。

Fig. 6に、温度ストレスと最大到達圧力( $P_{max}$ )の関係を示す。点火装置Bに関しては温度ストレスの影響は見られず、8.5~8.8MPaでほぼ一定の値を示しているのに対し、点火装置Aに関しては環境温度150×500

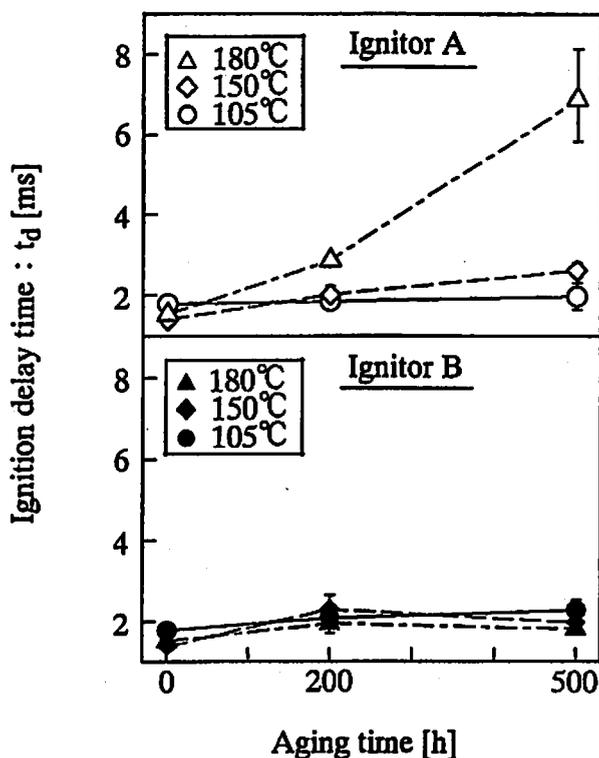


Fig. 5 Influence of the thermal stress on the ignition delay time measured with the 10cc closed vessel test (Error bars indicate maximum and minimum values)

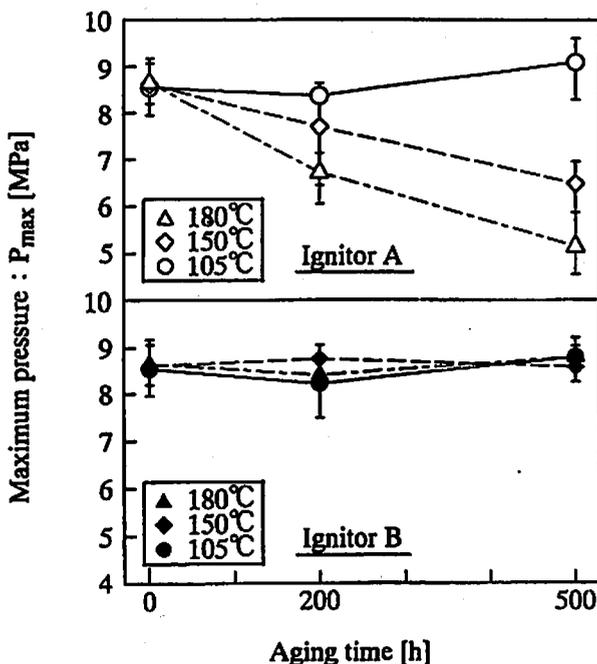


Fig. 6 Influence of the thermal stress on the maximum pressure measured with the 10cc closed vessel test (Error bars indicate maximum and minimum values)

時間、180°C×500時間の時に $P_{max}$ 値がそれぞれおよそ6.5MPa、5.2MPaと著しい減少を示した。点火装置の

発火時の主反応は(1)式に従うため、長期間の温度ストレス付加によりZPPに何らかの変化が生じ、これにより $P_{max}$ 値が低下したに他ならない。しかしながら、 $P_{max}$ 値の低下は、反応物自身の分解等による劣化、消耗に基づく総放出エネルギーの減少とともに、ZPPの主成分であるZrおよび $KClO_4$ の表面状態の変化等による反応速度の低下によるものの可能性があり、いずれの原因が支配的であるのかは $P_{max}$ 値のみからでは判断できない。

一方、ZPP 165mgが10.0cc密閉容器内で定容燃焼した際の燃焼パラメータを化学平衡計算プログラムSTANJANにより求めると、発生圧力は6.91MPa、断熱火炎温度は5274Kと得られた<sup>13,17)</sup>。基準試料の最大到達圧力の実験値は計算値に比べ2割以上高い値を示しているが、これは実験の際に容器内面および圧力センサー保護のために塗布したシリコングリースや点火装置構成部品であるプラスチックがZPPの燃焼により反応し、気体となったことに由来するものと推定されるが、定量的な解釈には至っていない。

以上より、点火装置Aについては環境温度150℃および180℃の温度ストレスの影響で燃焼性能が低下することが明らかとなった。また、点火装置A, Bで燃焼性能の低下の程度に大きな相違が見られたのは、温度ストレス付加条件の相違、すなわちZPPの空気との接触状態の相違に基づくものと推定された。

### 3.3 温度加速試験後のZPPの変化

先に述べたように、温度ストレスの付加によるZPPへの影響としてZPP中のZrの酸化が予想される。これを確認するために、温度ストレスを加えていない基準のZPP試料と、各条件で温度ストレスを加えたZPP試料について粉末X線回折による定性分析を行った。Fig. 7に、150℃×500時間および180℃×500時間の温度ストレスを加えたZPPの粉末X線回折分析結果を基準試料の結果と併せて示す。Fig. 7より、基準試料については、混合組成であるZrと $KClO_4$ のみが確認されたが、150℃×500時間の試料からは、これら以上に酸化ジルコニウム(以後、 $ZrO_2$ と略記)が検出され、さらに180℃×500時間の試料からは塩化カリウム(以後、KClと略記)のピークも現れた。温度ストレスを与えた試料から、 $ZrO_2$ のみでなくKClも定性されたことから、 $KClO_4$ の融点である610℃や相転移点300℃よりも低い温度でも $KClO_4$ が分解していることが確認された。このことから、高温空气中に長期間に設置するという温度ストレスの影響によりZrの空气中酸素との反応に加えて、 $KClO_4$ の分解によって生じた酸素によってもZrの酸化反応が進行することが示唆された。なお、Bergerらはヘリウム雰囲気中でのTG-DTA-MS

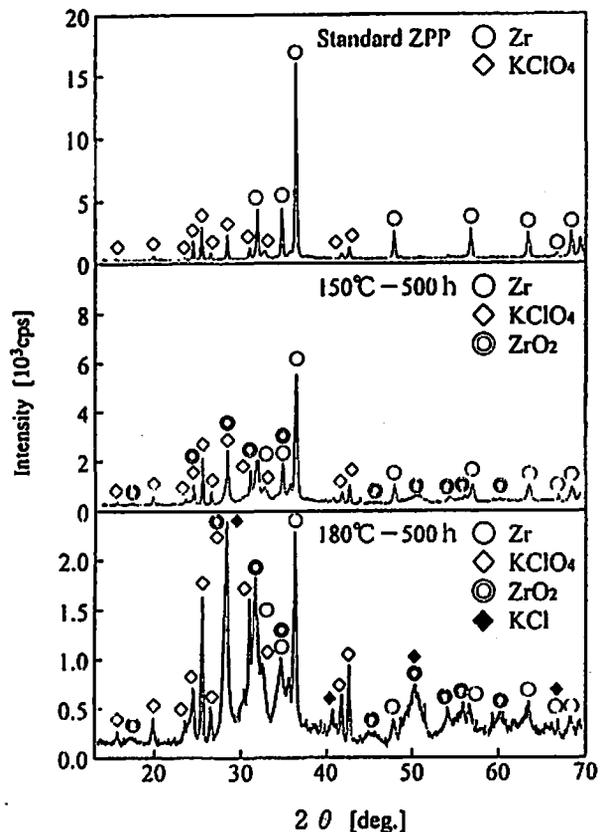


Fig. 7 X-ray diffraction patterns of standard and stressed ZPP

分析により同様組成の試料の生成物分析を行い、400℃以上の領域において $ZrO_2$ およびKClの生成を確認している<sup>16)</sup>。彼らの実験とは酸素が存在する空気雰囲気と不活性雰囲気、等温貯蔵と昇温加熱、さらに165mgと10mgの試料量の相違があるが、200℃以下でも粉末混合組成物の固体間の反応によりZPPが分解することが本実験結果から明らかとなった。また、McLainらは $KClO_4$ のタンマン温度が168℃であることから、これ以上の温度領域で $KClO_4$ の分解が進行可能であることを指摘しており<sup>14,18)</sup>、このことも180℃においた場合にKClが確認された実験結果を支持するものと解釈できる。

以上の各試験結果より、温度ストレスの影響として、点火装置の発火性能および燃焼性能が低下すること、さらに、温度ストレス付加による点火装置の性能低下に関しては、ZPPが高温空气中におかれた場合には先ず空气中酸素によるZrの酸化が進行して劣化の原因となるが、空気との接触がない場合でも $KClO_4$ の分解によって生成する酸素がZrと徐々に反応して劣化を進行させる可能性のあることが明らかとなった。

### 3.4 発火・燃焼性能の評価

いま、点火装置の発火性能試験における判定規格を「 $I_{99.9}$ が1.0 A以下」、燃焼性能試験の規格を「 $t_{P_{max}}$ が

3 ms以内)かつ「 $P_{max}$ が5.5 MPa以上」と設定すると、 $I_{99.9}$ について点火装置Aは180℃で200時間以上の場合に規格外となった。なお、105℃×500時間のデータは、 $\sigma$ が著しく大きいため規格からはずれている。点火装置Bは、105℃および180℃で500時間経過した場合に規格である1.0Aをわずかに越えた。点火装置Aの場合は、温度レベルによる影響が顕著に見られ、性能低下の原因が主にZPPの化学反応に起因するものと考えられるのに対し、点火装置Bは、温度レベルよりも貯蔵時間による影響が強く認められた。

一方、燃焼性能試験については、点火装置Bはいずれも規格を満足しているが、点火装置Aは180℃で200時間以上のストレスを付加した場合に規格外という結果となった。

以上より、点火装置Aは今回の実験で与えられた温度ストレスによって顕著な発火・燃焼性能低下の傾向を示し、試験結果が規格外のものもあったのに対し、点火装置Bは燃焼性能は温度ストレス付加前と変化がないことから、構成部品の物理的な変化やブリッジワイヤと点火薬剤との接触状態の変化等、化学反応以外の因子により発火性能が低下したものと考えられる。

実際の使用環境中での温度ストレスの影響を考えると、エアバッグ用点火装置は、自動車のステアリングホイール内のインフレーターに密閉状態で設置されており、設計上は外部の空気と接触する可能性はきわめて小さい。また、最高で85℃程度とされる実際の使用環境では、点火装置への温度ストレスの影響はさらに小さく、先の判定基準に十分適うものと考えられた。今後は長期間に亘る温度サイクル試験のような、より実際の状況を考慮した加速試験の開発ならびに評価、さらに、環境温度の変化による反応機構の変化を定量的に解明し、これを考慮した加速試験を行うことが必要である。

#### 4. 結 論

2種類の点火装置A、Bについて、環境温度を105、150、180℃、貯蔵時間を200、500時間とした加速条件で温度ストレスを加えた後に性能試験を行い、点火装置の発火性能および燃焼性能に及ぼす温度ストレスの影響を調査した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 環境温度150、180℃の温度ストレスにより、発火性能、燃焼性能の低下が確認された。また、この温度ストレスの影響は、ZPPを組み込んだ後に温度ストレスを加えた点火装置Bよりも、予め温度ストレスを加えたZPPを組み込んだ点火装置Aの方が顕著であった。
- (2) 150℃以上で長時間温度ストレスを加えると、ZPP試料は化学変化を起こす。180℃、500時間の温度

ストレスを加えたZPP試料からは本来の2成分以外に、それらの反応で生じたと考えられる $ZrO_2$ とKClが確認された。これにより発火・燃焼性能の低下の主要原因はZPP中のZrの酸化反応の進行および $KClO_4$ の分解によるものであると考えられた。

- (3) Zrの性能低下は、点火装置Aの方が顕著であったことから、Zrの酸化は主に空気中酸素によるものと考えられ、点火装置BのようにZPPと接触する空気が少ない場合には温度ストレスの影響は小さいことが分った。

#### 謝 辞

本研究の一部は、財団法人火薬工業技術奨励会研究助成金により遂行することができました。ここに記して謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 塩見弘, 「信頼性工学入門」, P. 242(1982), 丸善
- 2) 古賀正純, 山出憲一, 中浜亮治, 三菱自動車テクニカルレビュー, 2, 96(1989)
- 3) 大戸十三雄, 工業火薬, 51, 115(1990)
- 4) 戒田福美, 工業火薬, 52, 167(1991)
- 5) J. R. Duguet, Proc. 2nd Int'l Symposium on Sophisticated Car Occupant Safety Systems (Airbag 2000), 28-1, Karlsruhe (1994)
- 6) 湯川めぐみ, 鈴木健, 三宅淳巳, 小川輝繁, 木村歩, 西田謙二郎, 火薬学会1996年度年会講演要旨集, P. 81(1996)
- 7) 中村英嗣, 石松毅志, 原泰毅, 工業火薬, 51, 383(1990)
- 8) 長谷川隆一, 小林洋三, 内山次男, 池戸晃, 門田成治, いすゞ技報, 83, 92-98(1991)
- 9) Navord Report, "Statistical methods appropriate for evaluation of fuze explosive-train safety and reliability", (1953), U. S. Naval Ordnance Laboratory
- 10) K. A. Brownlee, J. L. Hodges Jr., M. Rosenblatt, "The up-and-down method with small samples", American Statistical Association Journal, JUNE (1953)
- 11) 田中一三, 中山良男, 生沼仙三, 工業火薬, 48, 34(1987)
- 12) 竹山象三, 工業火薬, 49, 40(1988)
- 13) 三宅淳巳, 青地忠浩, 白木広治, 小川輝繁, 火薬学会誌, 56, 216(1995)
- 14) J. A. Conkling, "Chemistry of Pyrotecnics", P. 101 (1985), Mercel Dekker
- 15) 長田英世, 火薬学シリーズ 火薬学入門(その9) 保安月報, 6 (1994)
- 16) B. Berger, E. L. Charsley, S. B. Warrington, Propel-

lants, Explosives, Pyrotechnics, 20, 266(1995)  
17) W. C. Reynolds, "STANJAN Version 3 user's  
manual", (1986), Stanford University

18) J. H. McLain, "Pyrotechnics", P. 30(1980), The  
Franklin Institute Press

---

Evaluation of ignition and combustion performance of airbag ignition  
devices using temperature stress accelerated test

by Atsumi MIYAKE\*, Megumi YUKAWA\*, Terushige OGAWA\*  
Ayumu KIMURA\*\* and Kenjiro NISHIDA\*\*

The temperature stress accelerated tests on the automotive airbag ignition devices has been conducted and the influence of the temperature stresses on the ignition and combustion performance has been investigated. In this series of test the composition of zirconium and potassium perchlorate (ZPP) was used as an igniter. The firing current of the ignition probability of 50% was determined by the ignition performance test with the up and down method, and the ignition delay time and the maximum pressure in the 10cc closed vessel test were measured for two types of igniter; A and B.

As the results, it was found out that the temperature stress affected the ignition and combustion performance of igniters and that more remarkable influence of the temperature stress were shown from the igniter A which were assembled with the pre-stressed ZPP than the igniter B which added the temperature stress after assembling.

The stressed and unstressed ZPP were analyzed with the X-ray powder diffraction, and  $ZrO_2$  and KCl were determined from the stressed ZPP. It was concluded that both the oxidation of zirconium and the decomposition of potassium perchlorate proceeded during the aging period caused the deterioration of the ignition and combustion performance of igniters.

(\*Department of Safety Engineering, Yokohama National University, 79-5,  
Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501, JAPAN

\*\*Himeji Factory, Nippon Kayaku Co. Ltd., 3903-39, Toyotomi, Toyotomi-cho,  
Himeji 679-2123, JAPAN)