

容積変化型タンク内圧測定装置を用いた ガス発生装置のエネルギー評価手法の研究

Research on Method of Evaluation of Energy in Gas Generators Using Variable Volume Tank
Pressure Measurement Device

殿岡 大英*
Daiei TONOOKA

甲斐 健*
Takeshi KAI

盛田 克彦*
Yoshihiko MORITA

要 旨

ABSTRACT

容積固定型タンク内圧測定装置は、エアバッグなどに用いられるガス発生装置(以下、インフレーター)の性能評価用装置として現在まで用いられている。しかしながら、この測定装置では容積変化を伴うインフレーター特性を適正に評価することができない。これに対し、本研究にて考案した容積変化型タンク内圧測定装置⁽³⁾ではタンク内圧力の上昇によって生じる内部の容積変化に伴う物理量を得ることができる。この得られた物理量を試験式に代入することによりインフレーター仕事というインフレーターの性能評価指標を定義できると考え、実際に装置を製作し試験をおこなった。この結果から、本装置によるインフレーターのエネルギー評価が可能であることを確認し、インフレーター仕事という新しい性能評価指標と性能評価手法を確立した。

To date, fixed volume tank pressure measurement devices have been employed in evaluation of the performance of the gas generators (inflators) used in airbags, etc. However, these measurement devices cannot be used to accurately gauge inflator characteristics as the volume changes. This research project therefore built a variable volume tank pressure measurement device⁽³⁾ to enable measurement data to be obtained as internal volume changes with increasing tank pressure. This device was used in tests, and measured values were input into a predictive equation to define an index (inflator work) for the evaluation of inflator performance. The new measurement device has made it possible to evaluate energy in an inflator and has enabled the development of a new performance evaluation index (inflator work) and method.

1. まえがき

エアバッグなどに用いられるガス発生装置の性能評価手法の一つとして容積固定型タンク内圧測定法がある。この測定法はインフレーターの製造管理が容易におこなえることから現在まで用いられている。

J.T.Wangは、容積固定型タンク内圧測定装置における測定結果だけではインフレーター特性を適正に評価するのは不十分であると報告⁽¹⁾しており、これに代わるインフレーターの性能評価手法が多数検討されている^{(1), (2)}。しかしながら、これらは主に容積固定型タンク内圧測定装置を用いた評価手法であり、理論式や実験式が複雑な上、測定手法も簡便でないことから、インフレーターの性能評価手法としては広く用いられていない。

そこで、タンク内の容積が変化することによって得られる

仕事に着目し、この仕事によってインフレーターの性能評価手法の構築ができると考え、タンク内に摺動可能な平円板ピストンを内蔵した容積変化型タンク内圧測定装置⁽³⁾を考案した。

本研究は、この装置におけるタンク内圧力の上昇に伴って生じる内部のピストン摺動から得られる差分圧力と差分容積を、エネルギー保存則に基づいた試験式に代入することによってインフレーター仕事というインフレーターの性能評価指標を定義しようとするものである。

この仮定に基づき容積変化型タンク内圧測定装置を製作した。

2. 各物理量記号の定義

Fig. 1に容積変化型タンク内圧測定装置の構想図を示す。ここで、各物理量記号を以下の様に定義する。

* 栃木研究所

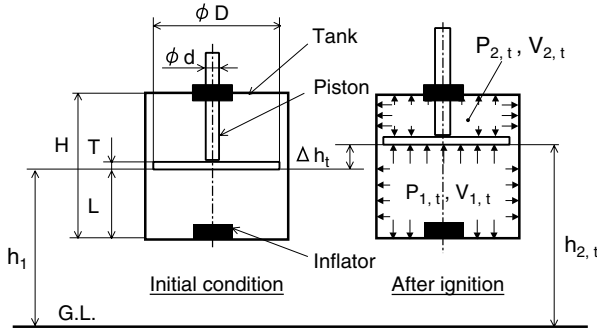


Fig. 1 Conceptual drawing of variable volume tank pressure measurement device

D : 平円板ピストンの平円板の直径 [m]

d : 平円板ピストンの軸直径 [m]

T : 平円板ピストンの平円板の板厚 [m]

m : 平円板ピストンの質量 [kg]

H : タンクの全内高 [m]

$P_{1,t}$: 平円板ピストンの円板面下面側(以下, 円板面下面側)タンク内圧力 [Pa]

$P_{2,t}$: 平円板ピストンの円板面上面側(以下, 円板面上面側)タンク内圧力 [Pa]

$P_{1,0}$: 円板面下面側タンク内大気圧 [Pa]

$P_{2,0}$: 円板面上面側タンク内大気圧 [Pa]

$\Delta P_{1,t}$: 円板面下面側タンク内差分圧力 [Pa]

$\Delta P_{2,t}$: 円板面上面側タンク内差分圧力 [Pa]

$V_{1,t}$: 円板面下面側タンク内容積 [m³]

$V_{2,t}$: 円板面上面側タンク内容積 [m³]

$\Delta V_{1,t}$: 円板面下面側タンク内差分容積 [m³]

$\Delta V_{2,t}$: 円板面上面側タンク内差分容積 [m³]

h_1 : 平円板ピストン初期位置におけるグラウンドラインから円板面下面側までの高さ [m]

$h_{2,t}$: 平円板ピストン摺動後のグラウンドラインから円板面下面側までの高さ [m]

Δh_t : 差分高さ [m]

Δt : 差分時間 [s]

L : タンク内底面から円板面下面側までの高さ [m]

Δw_t : 平円板ピストン局所的仕事 [J]

W_t : 平円板ピストン全体仕事 [J]

Δw_t^* : インフレータ局所的仕事 [J]

W_t^* : インフレータ全体仕事 [J]

$\Delta w_{\kappa,t}^*$: 比熱比 κ を適用したインフレータ局所的仕事 [J]

$W_{\kappa,t}^*$: 比熱比 κ を適用したインフレータ全体仕事 [J]

なお, 上記式記号における添え字 t は, 時間的に変化する物理量を示している。

3. 容積変化型タンク内圧測定装置試験式

3.1. 平円板ピストン仕事

ここで, 平円板ピストン仕事をインフレータからガスが

発生したとき, タンク内圧力が上昇して平円板ピストンが摺動することで発生する仕事と定義する。平円板ピストンの局所的仕事は Fig. 1 の系において熱の授受を無視したとき, 系が系の外部に対してなした仕事と系内部の増加エネルギーの組み合わせから求められる(エネルギー保存則)。この平円板ピストン局所的仕事を時間積算した値が平円板ピストンの全体仕事である。

$$\Delta w_t = P_{1,t} \cdot \Delta V_{1,t} - P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t} - mg \cdot \Delta h_t + \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{\Delta h_t}{\Delta t} \right)^2 \quad (1)$$

$$\sum_{t=0}^N \Delta w_t = W_t = \sum_{t=0}^N \left\{ P_{1,t} \cdot \Delta V_{1,t} - P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t} - mg \cdot \Delta h_t + \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{\Delta h_t}{\Delta t} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

3.2. インフレータ仕事

インフレータ仕事は式(1)を離散化することにより与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta w_t = & P_{1,0} \cdot \Delta V_{1,0} + (\Delta P_{1,1} \cdot \Delta V_{1,1} + \Delta P_{1,2} \cdot \Delta V_{1,2} + \dots + \Delta P_{1,t} \cdot \Delta V_{1,t}) \\ & - P_{2,0} \cdot \Delta V_{2,0} - (\Delta P_{2,1} \cdot \Delta V_{2,1} + \Delta P_{2,2} \cdot \Delta V_{2,2} + \dots + \Delta P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t}) \\ & - mg \cdot \Delta h_t + \frac{1}{2} m \cdot \left(\frac{\Delta h_t}{\Delta t} \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)における第2項, 第4項を構成する一つ一つの項がインフレータ局所的仕事である。インフレータ局所的仕事とはインフレータから単位時間あたりに発生するガスの発生事象を表現するエネルギー量である。

インフレータ局所的仕事はインフレータから発生するガスを理想気体と仮定した場合, 次式の様に定義できる。

$$\Delta P_{1,t} \cdot \Delta V_{1,t} \approx \Delta P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t} \quad (4)$$

この式(4)における仮定条件を適用して, インフレータ局所的仕事とインフレータ全体仕事を一般式化する。インフレータ全体仕事とはインフレータがある時刻段階までに拘束装置に与えることが可能なインフレータの総エネルギー量を表現する物理量である。

$$\Delta w_t^* = \Delta P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t} \quad (5)$$

$$\sum_{t=0}^N \Delta w_t^* = W_t^* = \sum_{t=0}^N (\Delta P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t}) \quad (6)$$

インフレータ仕事を式(4)の右項で一般式化する理由は, タンク内に既存する空気の圧縮性効果を小さくするためである。

式(5), (6)に比熱比 κ を適用すると,

$$\Delta w_{\kappa,t}^* = \Delta P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t}^{\kappa} \quad (7)$$

$$\sum_{t=0}^N \Delta w_{\kappa,t}^* = W_{\kappa,t}^* = \sum_{t=0}^N (\Delta P_{2,t} \cdot \Delta V_{2,t}^{\kappa}) \quad (8)$$

式(7)，(8)はガス成分の異なるインフレータを比較する際に用いる。

式(5)－(8)で与えられた試験式は平円板ピストンが摺動することで得られる差分圧力と差分容積から構成された気体の状態方程式である。

4. 容積変化型タンク内圧測定装置

Fig. 2, 3に容積変化型タンク内圧測定装置の概要図とその写真を示す。容積変化型タンク内圧測定装置は主に円筒形のタンクと平円板ピストンから構成されている。

インフレータはタンク内底面，タンク法線方向中央部に設置する。

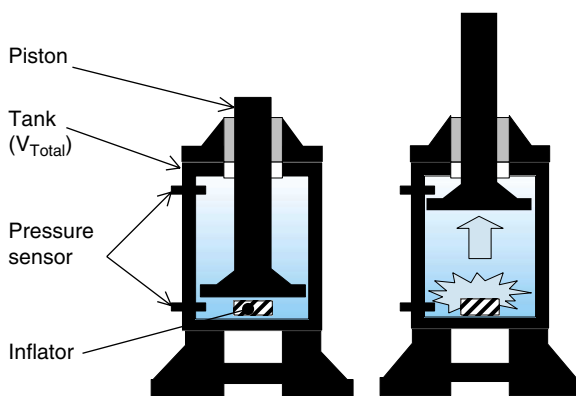


Fig. 2 Structure of variable volume tank pressure measurement device

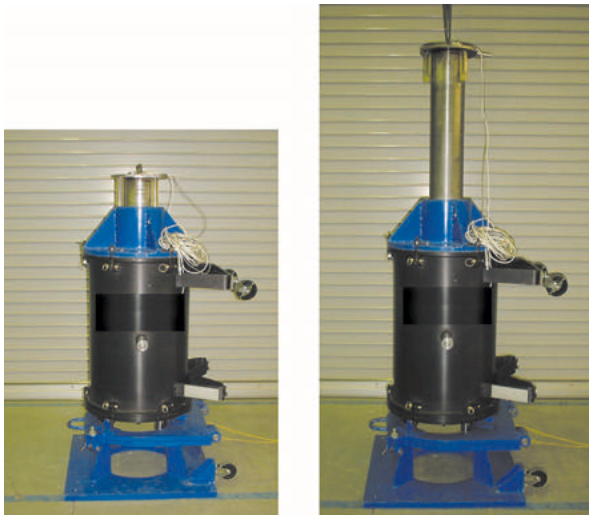


Fig. 3 Picture of variable volume tank pressure measurement device

5. 試験

5.1. 容積変化型タンク内圧測定装置概要

試験に用いる容積変化型タンク内圧測定装置のタンク全内容積 V_{Total} は 0.054 [m] とした。

5.2. 試験条件

5.2.1. 測定手法

容積変化型タンク内圧測定装置内の円板面上面側圧力と下面側圧力の測定はタンク円筒外周面の法線方向任意位置に設置する二つの圧力センサによりおこなった。圧力センサの設置を任意位置とした理由は，タンクに内蔵された平円板ピストンが円板面上面側圧力と下面側圧力の均衡を保ちながら摺動するからである。

なお，容積変化型タンク内圧測定装置内の容積変化は，平円板ピストンの摺動変位から求めた。

5.2.2. 試験に用いるインフレータと試験条件

1. 推薬式多段点火インフレータ

- ・同時点火(1, 2 段目 0 [ms])
- ・遅延点火(1 段目 0 [ms], 2 段目 20 [ms])
- ・遅延点火(1 段目 0 [ms], 2 段目 40 [ms])

なお，遅延点火試験条件の設定20, 40[ms] は，ガス発生事象の検証を目的とするため任意に設定した。

2. 推薬式単段点火インフレータ

- ・同仕様のインフレータに対して三回の試験を実施。

6. 試験結果検証とその考察

6.1. 試験結果の検証

Fig. 4 -7 に容積変化型タンク内圧測定装置における内圧の測定結果を示す。縦軸はタンク内の円板面上面側圧力と下面側圧力，横軸はインフレータ点火からの時間を示している。

Fig. 4 -7 に示す，いずれの測定結果においても容積変化型タンク内圧測定装置の円板面上面側圧力と下面側圧力のグラフの曲線形状が均衡することが観察できた(図中内○囲み領域)。これはインフレータの仕様や試験条件が異なった場合においても円板面上面側圧力と下面側圧力の差分圧力の時間積分値が均衡することを証明しており，本報にて提案した内部圧力均衡式(4)の仮定条件が成立することが確認された。また，製作した容積変化型タンク内圧測定装置の妥当性も証明することができた。

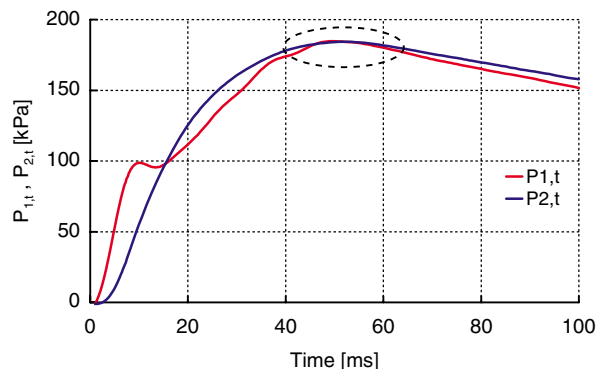


Fig. 4 Tank pressure (dual ignition pyrotechnic inflator, 0ms)

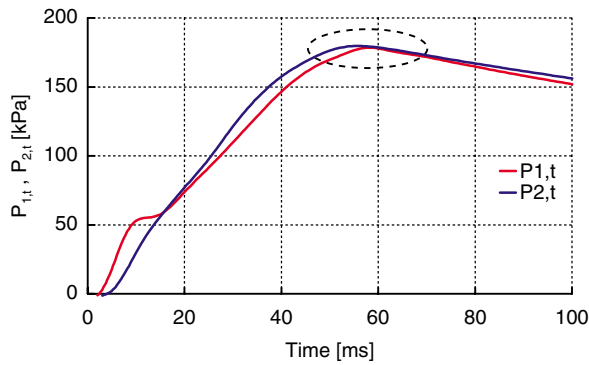


Fig. 5 Tank pressure (dual ignition pyrotechnic inflator, 20ms delay)

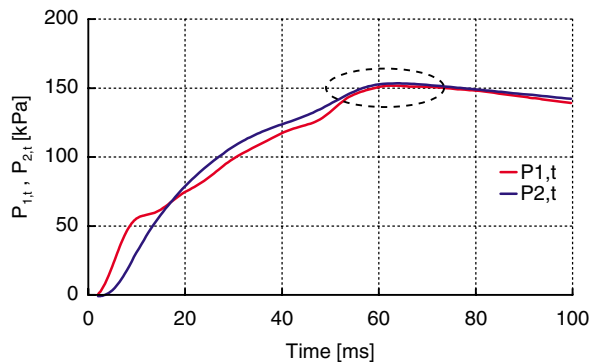


Fig. 6 Tank pressure (dual ignition pyrotechnic inflator, 40ms delay)

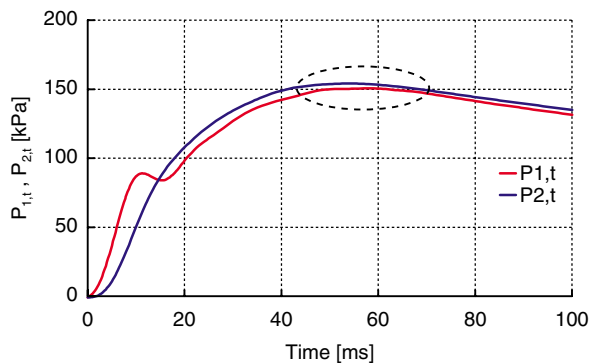


Fig. 7 Tank pressure (single ignition pyrotechnic inflator)

6.2. 考察

この容積変化型タンク内圧測定装置における内圧測定結果を差分化した圧力と差分容積を試験式(5)、(6)あるいは(7)、(8)に代入することによってインフレータ局所的仕事とインフレータ全体仕事求められる。

6.2.1. 推薬式多段点火インフレータ

Fig. 8, 9にインフレータ仕事の算出結果を示す。縦軸はインフレータ仕事、横軸はインフレータ点火からの時間を示す。この結果から以下のことがわかる。

(1) 同時点火におけるインフレータ局所的仕事のグラフの曲線形状は、インフレータ局所的仕事の時間に対する傾きが2段階遅延点火 20、40 msより大きいことを示している。

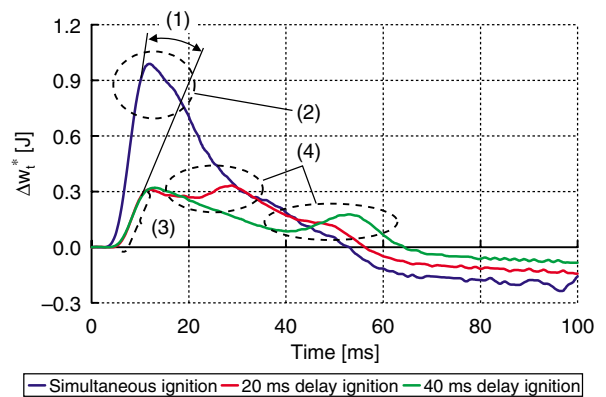


Fig. 8 Local inflator work (dual ignition pyrotechnic inflator)

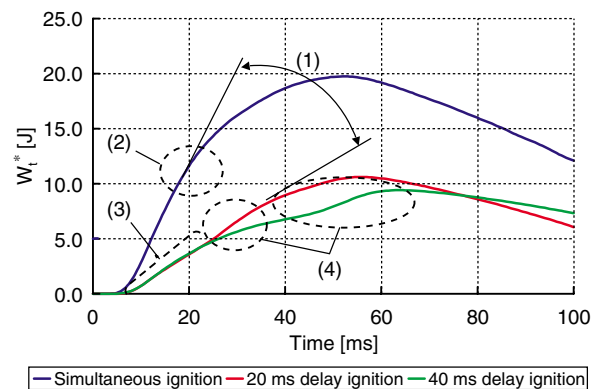


Fig. 9 Total inflator work (dual ignition pyrotechnic inflator)

- (2) 同時点火におけるインフレータ局所的仕事は2段階遅延点火のそれより時間的に早い段階で低下する。
- (3) 2段階遅延点火 20、40 msにおけるインフレータ局所的仕事のグラフの曲線形状は、2段階遅延点火時刻付近まで一致している。
- (4) 2段階遅延点火 20、40 msにおけるインフレータ局所的仕事の上昇は2段階遅延点火時刻付近から観察できる。

これらは Fig. 9 に示したインフレータ全体仕事についても同様である。

6.2.2. 推薬式単段点火インフレータ

Fig. 10, 11に三回の試験を実施した推薬式単段点火インフレータと多段点火インフレータの同時点火に対するインフレータ仕事の算出結果を示す。この結果から以下のことがわかる。

- (1) インフレータ局所的仕事の時間に対する傾きとその最大値、グラフの曲線形状を見る限り、本報にて提案した試験式は試験に用いたインフレータのガス発生事象のばらつきが小さいことを示している。
- (2) 単段点火インフレータと多段点火インフレータにおける算出結果を比較した場合、インフレータ局所的仕事の違いが表現できる。

謝 辞

本研究に際し、御協力頂きましたオートリブジャパン株式会社の関係者各位に対しまして厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) Wang, J.T.: Are Tank Pressure Curves Sufficient Discriminate Airbag Inflators, SAE Paper 910808
- (2) Hussey, B., Rink, M.L.: Predictive Techniques for Airbag Inflator Exit Properties, SAE Paper 950344
- (3) 特願 2004-175413

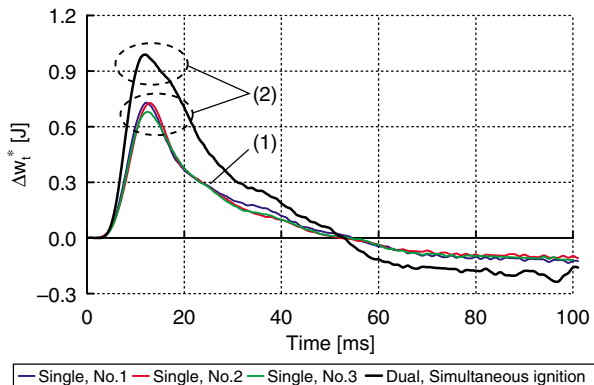


Fig. 10 Local inflator work (single and dual ignition pyrotechnic inflators)

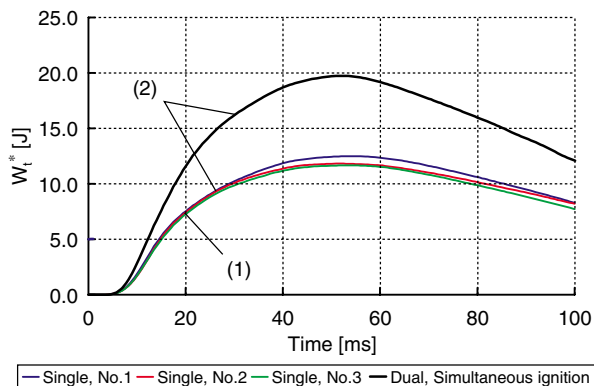


Fig. 11 Total inflator work (single and dual ignition pyrotechnic inflators)

7. 結論

本研究は容積変化を考慮したインフレータのエネルギー評価手法の構築を目的として、タンク内に摺動する平円板ピストンを内蔵した容積変化型タンク内圧測定装置を考えた。

この装置における試験からインフレータの性能評価指標が得られた。

今後は、提案したインフレータのエネルギー評価手法が試験室の温度条件やガス温度に対しても表現していることを検証していく。

■ 著 者 ■



殿岡 大英



甲斐 健



盛田 克彦