

燃焼合成反応熱を用いた新しい熱気球を大空に揚げよう

最終報告

大阪産業大学 外城大将

1. 緒言

本実験は、燃焼合成反応熱を利用してバルーン内部の気体を暖めることで、密封系の熱気球を揚げようとするものである。

既存の熱気球は、熱源として燃料の酸化燃焼を利用するため、酸素（空気）の存在が不可欠である。このため、開放系とした場合、燃焼装置をバルーン外部に置いてその熱風を内部に吹き込む孔が必要となり、熱の一部はバルーン外に拡散し、熱効率が悪くなるを得ない。密封系とした場合には、バルーン内で酸化燃焼させることになり、酸素不足で完全燃焼しなくなることが懸念される。

そこで、本研究では、反応時に酸素を必要としない燃焼合成反応に注目した。セラミックスなどの製造方法の一つである燃焼合成は、元素混合粉末から化合物を生成する際に多量の化学反応熱を放出する。密閉したバルーン内部でこの燃焼合成反応を行うことにより、生成熱全てをバルーン内の気体層に伝達できるため、高効率な熱気球となることが期待される。

2. 基本構成

図 2-1 に、本実験で製作した熱気球の模式図を示す。

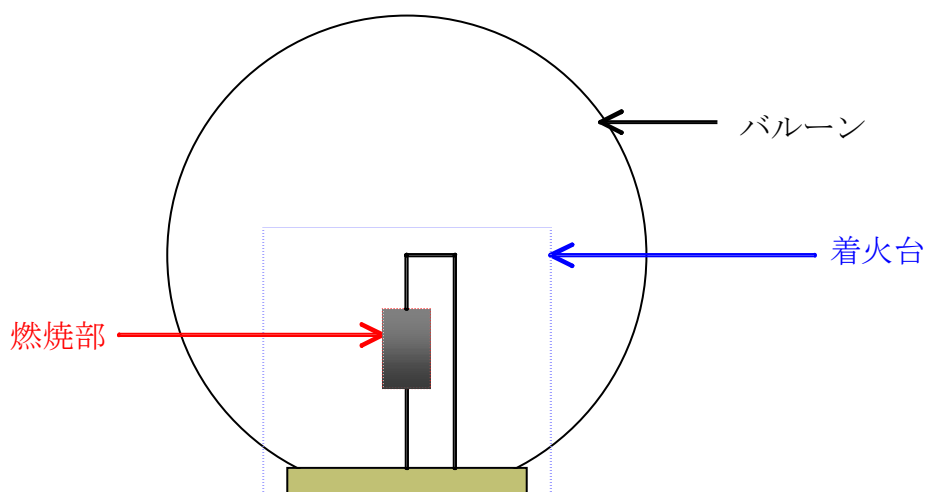


図 2-1 本実験で製作した熱気球の模式図

上図に示した通り、熱気球は、バルーン、着火台、及び燃焼部より構成される。気球の最外殻をなすバルーンの体積は、大きくなればそれだけ熱気球総重量を大きく

第四回八光熱の実験コンテスト

できるが、加熱はそれだけ困難になる。逆に、体積を小さくすれば加熱は容易になるが、総重量はさほど大きくできない。そこで、図 2-2 に示すように、気球容積、バルーン内温度、及び総重量の関係を計算し、室内で実験可能で、内気温度が 100℃以下で十分な浮力を得られる 4m³ を、本実験で製作する熱気球の容積として設定した。形状は、体積を同一とした場合最小の表面積を取る、球体とした。

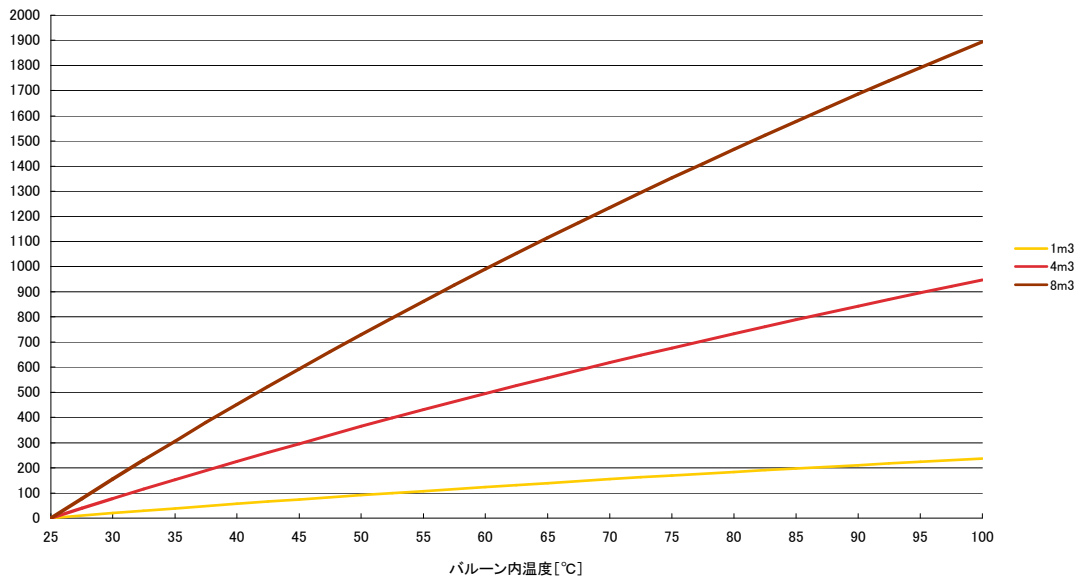


図 2-2 気球容積、バルーン内温度、及び総重量の関係

図 2-3 に、着火台と燃焼部の模式図を示す。

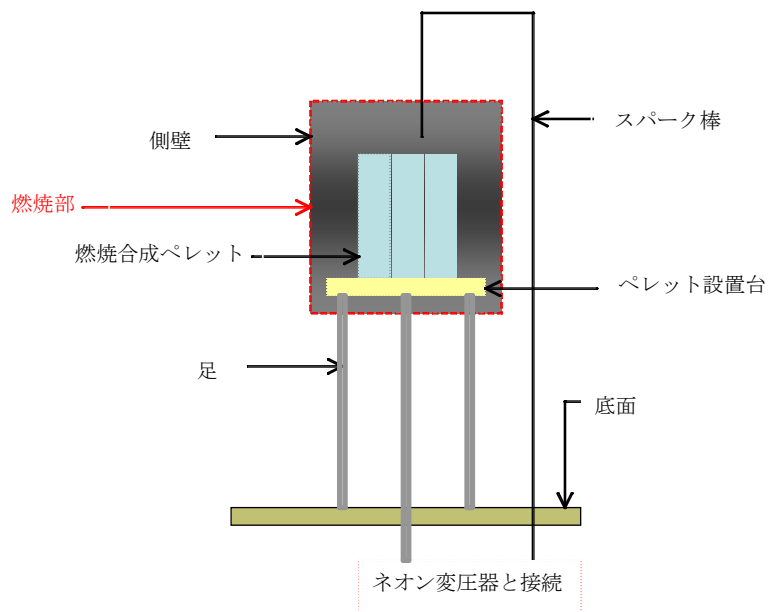


図 2-3 着火台と燃焼部拡大図

第四回八光熱の実験コンテスト

図中、赤で囲んだ燃焼部中心には、熱源となる燃焼合成ペレットが配されている。燃焼合成反応時には、3000℃に達する膨大な熱が発生するため、バルーンに損傷を与えることなく反応を行える、着火台が不可欠である。そこで、気球最下部に、円盤の底面を設け、そこから足を伸ばすことで、燃焼部からの熱的影響がバルーンに及ばないようにした。燃焼部は側壁で囲い、多少気体が揺れても、ペレットが落下しないようになっている。また、燃焼合成反応を開始するには、ペレットの一端を高電圧の電氣的スパークで強熱しなければならないため、この着火台はスパーク機構も備えている。

3. 実験概要

3-1. 方法

まず気球本体を製作し、完成した気球を用いた浮遊試験を行った。

バルーンは、素材から8枚の紡錘形のパーツを切り出し、それらを熱溶着して、球体とした。この球体と、図2-3に示した着火台が接合され、図2-1に示した気球となる。

着火台に燃焼合成ペレットを収め、十分な気密性を確保した後、浮遊試験を行った。浮遊試験時は、バルーン内温度測定のために、気球底面に熱電対を設置した。

3-2. 条件

表3-2-1に各バルーンの条件一覧を、表3-2-2に各着火台の重量一覧を示す。

表 3-2-1 各バルーンの条件一覧

	バルーン1	バルーン2	バルーン3
材料	PE製ゴミ袋	防寒シート	レスキューシート
重量[g]	350	280	180

表 3-2-2 各着火台の重量一覧

	着火台1	着火台2
重量[g]	200	130

本実験では、いずれの浮遊試験でも燃焼合成粉末として、非酸化物セラミックスの代表である、炭化チタン (TiC) を選択した。反応が比較的穏やかで、十分大きな熱を放出するためである。その反応式を示す。



構成元素である、金属チタン粉末 (Ti) と炭素粉末 (C) を混合し、圧粉成形した 30g のペレットを 3 本、計 90g 用いた。

4. 浮遊試験 1

4-1. 条件

表 4-1 に、浮遊試験 1 の条件一覧を示す。

表 4-1 浮遊試験 1 の条件一覧

	バルーン	着火台	ペレット	総重量
名称	バルーン1	着火台1	TiC	
重量[g]	350	200	90	640

図 4-1 に示す、浮遊試験 1 で用いたバルーン 1 の材料は、黒のポリエチレン製ゴミ袋である。黒の方が、同じ材料の半透明のものより保温性が高いと考えた。



図 4-1 浮遊試験 1 の様子

4-2. 結果

燃焼合成反応開始から 30 秒後、バルーン内に設置した熱電対温度は 40°C まで上昇した。この時の室温（外気温度）は 25°C であったことから、燃焼合成反応熱により、バルーン内温度を 15°C しか昇温できなかった。気球は浮遊しなかった。

4-3. 考察

図 2-2 より、バルーン内温度が 40°C まで上昇した時、理論上持ち上げることができる気球総重量は、僅か 225g である。今回の総重量は 640g であったことから、400g 以上の減量が必要であることが分かった。

5. 浮遊試験 2

5-1. 条件

浮遊試験 1 より、気球本体の軽量化が必要であることが判明したが、400g もの軽量化は不可能である。そこで、軽量化と共に、保温性も向上を計るため、バルーンを、PE 製ゴミ袋からアルミ蒸着 opp (oriented polypropylene) 製の防寒シートに変更した。

浮遊試験 2 の条件一覧を、表 5-1 に示す。

表 5-1 浮遊試験 2 の条件一覧

	バルーン	着火台	ペレット	総重量
名称	バルーン2	着火台1	TiC	
重量[g]	280	200	90	570

バルーン 1 より 70g 減量された、本試験の気球外観写真を図 5-1 に示す。



図 5-1 浮遊試験 2 の気球外観写真

5-2. 結果

燃焼合成反応開始から 45 秒後、バルーン内に設置した熱電対温度は 60°C まで上昇した。この時の室温 (外気温度) は 25°C であったことから、燃焼合成反応熱により、バルーン内温度を 35°C 昇温できたことになる。しかし、気球は浮遊しなかった。

5-3.考察

図 2-2 より、バルーン内温度が 60℃まで上昇した時、理論上持ち上げることができる気球総重量は 500g である。今回の総重量は 570g であったことから、さらに 70g 以上の減量が必要であることが分かった。

6. 浮遊試験 3

6-1.条件

浮遊試験 2 から、アルミ蒸着 opp が軽量化、及び保温性に優れていることが分かったので、同じアルミ蒸着 opp 製でより軽量のレスキューシートを材質としたバルーン 3 を製作し、浮遊試験に臨んだ。

浮遊試験 3 の条件一覧を、表 6-1 に示す。

表 6-1 浮遊試験 3 の条件一覧

	バルーン	着火台	ペレット	総重量
名称	バルーン3	着火台2	TiC	
重量[g]	180	130	90	400

バルーン 3 は、バルーンのみでバルーン 2 より 100g の軽量化に成功しており、浮遊試験 2 と同等の温度までバルーン内を昇温できれば、気球は揚がるはずであるが、着火台も新調し、計 170g の軽量化に成功した。



図 6-1 浮遊試験 3 の様子

第四回八光熱の実験コンテスト

図 6-1 に示した、バルーン 3 の材料となったレスキューシートは、一方の面が金色、他方が銀色で、銀色の面から金色の面の方向へは保温性が高く、逆に、金色の面から銀色の面の方向へは放熱性が高いという特殊な性質を有している。バルーン 2 よりも一層の保温性が期待される。

6-2.結果

燃焼合成反応開始から 45 秒後、バルーン内に設置した熱電対温度は 148℃という、予想を大幅に上回る温度まで上昇した。この時の室温（外気温度）は 25℃であったことから、燃焼合成反応熱により、バルーン内温度を 35℃昇温できたことになる。しかし、なぜか気球は浮遊しなかった。

6-3.考察

図 2-2 に用いた計算式より、バルーン内温度が 148℃まで上昇した時、理論上持ち上げることができる気球総重量は 1300g であり、今回の総重量 400g の気球が浮遊しないはずはない。しかし、結果として、気球は揚がらなかった。

以上の浮遊試験 1～3 では、温度計測を一本の熱電対のみで行ってきた。つまり、計測地点の熱電対温度が、バルーン内温度を全く反映していない可能性が考えられる。そこで、バルーン内に、重量が空気の 10 分の 1 程度である不活性ガス、ヘリウムを若干封入し、浮遊試験を行った。

7. 浮遊試験 4

7-1.条件

浮遊試験 4 の条件一覧を、表 7-1 に示す。

表 7-1 浮遊試験 4 の条件一覧

	バルーン	着火台	ペレット	総重量
名称	バルーン3	着火台2	TiC	
重量[g]	360	160	120	640

本試験で用いた気球には、浮遊試験 3 と同じバルーン 3 と着火台 2 を用いたが、それぞれ重量が大幅に増加している。これは実験の回数を重ねるうちに、補修・補強が必要となったためである。また、燃焼合成ペレットの本数を従来の 3 から 4 に増やし、更なる温度増大を狙った。

現状の総重量 640g から、ヘリウム封入量を 0.5m³に設定し、この時のバルーン内温度と気球総重量の関係を計算した。その結果を図 7-1 に示す。

なお、浮遊試験 3 で温度計測方法に問題があることが明らかとなったため、本試験で温度測定は行わなかった。

第四回八光熱の実験コンテスト

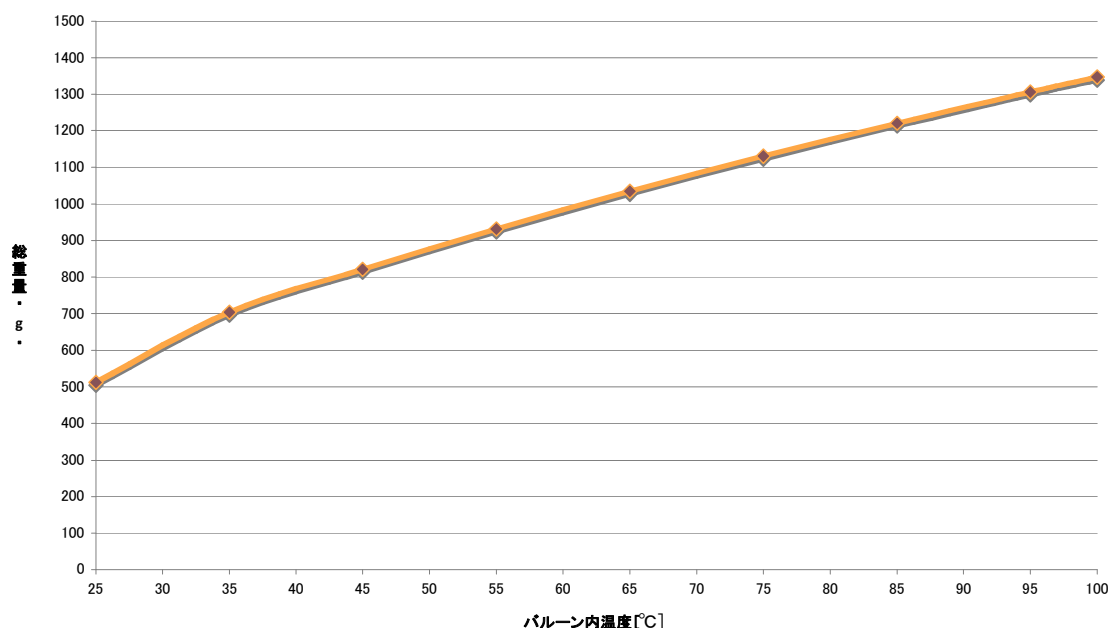


図 7-1 ヘリウムを 0.5m³封入した時のバルーン内温度と総重量の関係

7-2.結果

燃焼合成反応開始から 20 秒後、バルーンは見事に地面を離れた。しかし、地面を離れた瞬間、気球はバランスを失い、着火台が燃焼合成ペレットごと、バルーン外に落下してしまった。

7-3.考察

本試験で用いた、総重量 640g の気球が揚がったということは、図 7-1 より、バルーン内温度は 32.5°C 以上に上昇したはずである。

ここでは詳しく触れないが、浮遊実験 4 の気球の着火台の安定度を高める改良を施し、総重量を 790g として浮遊実験を行ったが、浮上しなかった。つまり、この時のバルーン内温度は 42.5°C 以下であったと推察される。

以上の結果より、バルーン内温度は 32.5°C から 42.5°C であったはずである。図 2-2 より、バルーン内気が空気のみであった場合、その温度が 42.5°C まで上昇したとしても、持ち上がる総重量は 250g であり、浮遊実験 3 で 400g の気球が揚がらなかったのも頷ける。

8. まとめ

本実験の結果、以下の 2 点が分かった

1. 内気を空気とした場合、容積 4m³、総重量 400g の気球を、90g の TiC ペレットの燃焼合成反応熱で浮遊させることは不可能である

第四回八光熱の実験コンテスト

2. 内気に 0.5m^3 のヘリウムを封入することで、容積 4m^3 、総重量 640g の気球を、 120g の TiC ペレットの燃焼合成反応熱で浮遊させることが可能である

9. 今後の課題

今回の結果にわれわれは全く満足していない。当初の、密封系の熱気球を大空に揚げる、という目標にはまだほど遠い成果しかあげることができなかったためである。

来年度以降も継続して実験を行い、何としてもわれわれの手で熱気球を大空に揚げたい。そこで課題となるのは、以下の2点であると思う。

- A. 燃焼合成反応熱はどこに行くのか
- B. 保温性をいかに高めるのか

今回の実験では、時間的な制約もあり、バルーン内外の熱移動の解析が全くできなかった。今後はこの解析を行いつつ、バルーン内温度をなるべく高温に保つ方策を考案する所存である。