

チョコレートのような合金を目指して

熊本県立宇土高等学校 2年 関 良朝

1 目的

安全で融点の低い合金を作成し、3Dプリンターへの応用を目指すこと。また合金の組成と融点の規則性について調べる。

2 実験計画

今回は安価で安全性が高くウッド合金の材料で合金にしたときに融点が低くなると期待されること、比較的単体の融点が高い典型元素であるという理由からスズ、鉛、ビスマスの3種類の金属を使用した。また目的とする50℃以下の合金は3つの金属の合金だと仮定して計画した。

3 実験方法

前回私たちは空気中で合金を合成し、冷却曲線の分析によって融点を求めたが、多くの酸化物が生じたためデータの信頼性が低下し、融点の判定自体も難しいものとなっていた。そこで今回酸化物の影響を抑えて実験する方法を試した。

(1) 紙やすりで研磨して酸化膜を落とした金属を、あらかじめ決定した質量比となるように量り取った。このとき3種類の金属の質量の合計が10gとなるようにした。

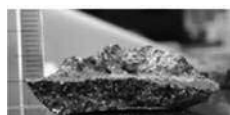
(2) 金属を100mlの三角フラスコに入れ、右の写真のような二酸化炭素置換装置を用いて塩酸と炭酸カルシウムの反応から二酸化炭素を取り出し、二酸化炭素を三角フラスコ内に置換した。



二酸化炭素置換(左)と真空ポンプ(右)

(3) 反応の終了後、栓付きガラス管のついたゴム栓でフラスコを密封し、右の写真の真空ポンプを用いて10分間減圧を行った。

(4) 減圧が終わったら栓付きガラス管の栓を閉じ、三角フラスコ内の金属が互いに触れ合わないようにして、ガスバーナーで加熱した。



前回合成した合金(左)と融点測定に用いた実験装置(右)

(5) 金属が溶けた後、フラスコを手で振り混ぜ、静置して冷却し合金を得た。

○融点測定法

ア 酸化膜を落とした合金を試験管に入れ、二酸化炭素を置換した後、右の写真の装置で試験管を密封し真空ポンプを用いて10分間減圧する。

イ 400℃付近までガスバーナーで加熱し、Data studioを用いて冷却曲線を作成する。(0.1秒毎)

4 結果

3種類の金属を用いた合金について融点を測定し、右のような結果を得た。

※「差」は前回測定された融点から今回測定された融点を引いた値である。

最も融点が低かったのは

Bi45%, Sn30%, Pb25%のときの91.3℃であった。

	今回				
	1回目	2回目	3回目	平均	差
3つの金属の合金					
ビスマス5% スズ5% 鉛90%	275	276.5	272.5	274.7	17.5
ビスマス5% スズ10% 鉛85%	258.5	260	260	259.5	-2.5
ビスマス5% スズ80% 鉛15%	171.5	171	174.5	172.3	-9.7
ビスマス5% スズ90% 鉛5%	204.5	208	204	205.5	-13.2
ビスマス10% スズ55% 鉛35%	159.5	161	160.5	160.3	-16.3
ビスマス20% スズ70% 鉛10%	159.5	144.5	164.5	154.5	6.8
ビスマス26.7% スズ3.3% 鉛70%	197.5	198.5	197.5	197.8	20.8
ビスマス26.7% スズ30% 鉛43.3%	131	130.5	132	131.2	-5.8
ビスマス30% スズ45% 鉛25%	95.5	94.5	94	94.7	-5.0
ビスマス45% スズ22.5% 鉛32.5%	99	99.5	99.5	99.3	-10.0
ビスマス45% スズ30% 鉛25%	90.5	93	90.5	91.3	9.3
ビスマス50% スズ10% 鉛40%	93	96	95	94.7	9.0
ビスマス50% スズ40% 鉛10%	104.5	103.5	101.5	103.2	12.7
ビスマス55% スズ35% 鉛10%	98	103	102.5	101.2	-6.2
ビスマス80% スズ15% 鉛5%	168.5	151.5	147.5	155.8	25.5
鉛100%	318.5	311.5	311	313.7	-9.0
錫100%	217.5	220.5	220	219.3	9.5
ビスマス100%	244	243	240.5	242.5	18.3

5 考察

今回新しい方法を導入したことにより前回と比べ再現性の高いデータを得られた。酸化物と思われる層がかなり薄くなり、冷却曲線も比較的滑らかになっていることから不純物を減らすことに成功した可能性が高い。融点判定も容易になった。

さらに今回、減圧を行うとフラスコの壁面に金属



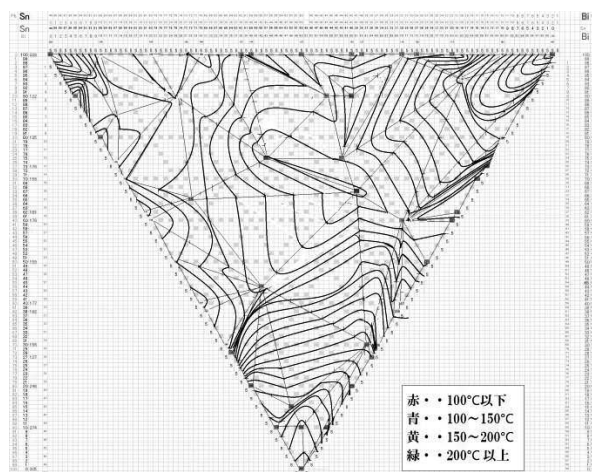
減圧時と常圧時の金属の状態(左が減圧時)

がほとんど付着しなくなる現象が確認された。減圧をしてから合金を作れば金属はフラスコに付着しないが、減圧をしないとフラスコの底面の広い範囲に金属が広がってしまう。つまりこの方法を用いれば金属がフラスコの壁面につかなくなるため、合金の組成が合成の前後で変わらず、データの信頼性が向上し、後片付けも容易になる。この現象は表面張力によるものと考えている。

また二酸化炭素の置換により黒色の酸化物が減少し、より質の高い合金を作ることができた。前回検出された融点と今回の融点に大きな違いが見られなかったのは前回の融点測定時、温度計の先端が不純物の層よりも深いところにあったために温度測定への影響が小さく抑えられたといえることが考えられる。

今回のデータと前回のデータに基づき、スズ、鉛、ビスマスのそれぞれを横軸にとった散布図に近似曲線を引いたところ、近似曲線は放物線に近い形となり、その頂点すなわちそれぞれの金属を含む合金の最低融点において、スズは30%付近、鉛は25~35%付近、ビスマスは50%付近で融点が最も低くなっている。ちなみに近似曲線の形は今回と前回では異なっているが、その頂点はあまり変化していない。

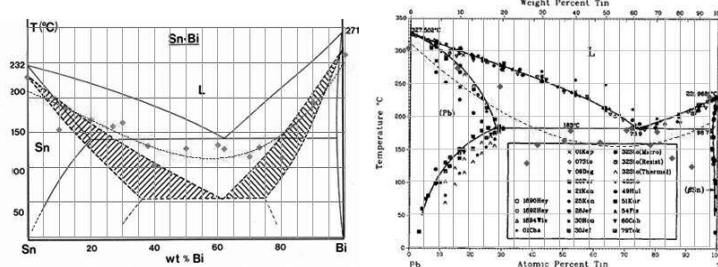
前回得られたデータを等高線を引く要領で右図のように整理したところ、図に示すような模様が現れた。この図によれば、スズ、鉛、ビスマスを使用した合金において最も融点の低くなると考えられる組成はBi35%, Sn35%, Pb30%付近であると考えられ、融点の低い合金を作ろうと思えばこの付近の組成を念入りに調べる必要がある。右図の作成には2種類の金属を用いた合金と3種類の金属を用いた合金の両方のデータが揃っているという理由から前回のデータを用いたが、今回得られたデータでも作成したい。



6 先行研究との比較

先行研究の調査から得た2種類の金属による合金の状態図と実験1で得たデータを重ね合わせたところ、今回私たちが融点とした温度において合金は固体と液体が混合した状態にある可能性が最も高いことがわかった。融点の判定法に改善が必要な可能性がある。

合金の融点の等高線(上) 先行研究との比較(下)



7 まとめと今後の展望

今回、二酸化炭素置換と減圧をし

てから合金を作ることにより、より不純物が少ない質の高い合金を作ることができると分かり融点と合金の融点の規則性がおおよそ見えてきた。しかし合成方法に改善の余地があり、現時点では、私たちが作成した合金が金属間化合物なのか単なる混合物なのかかわからずにいる。これについては大学等との連携やさらなる文献調査によって結晶構造を観察し、より質が高く安定した合金の作成方法を模索していきたいと考えている。

私たちがこの合金の応用として考えているのが3Dプリンターだ。現在主流となっている金属用3Dプリンターは100万~1億円と装置が大変高価で多くのエネルギーを成形の段階で使用する上、やり直しも効かない。しかし私たちが目指している合金を応用できれば、一度成形した物体を再利用して別の形にすることができ、エネルギーをあまり使わない安価な金属用3Dプリンターを作ることが出来るだろう。現在は近年普及しだした樹脂用3Dプリンターのように融解した金属を積み上げていくタイプを構想している。

次なる目標に向けさらなる努力を重ねていきたい。

8 謝辞

融点測定装置の製作にあたっては熊本県立熊本工業高校 迫田正昭先生にご協力いただきました。深く感謝申し上げます。

〔参考文献〕

- ・物理(東京書籍) ・理化学辞典(岩波書店)
- ・金属辞典 ・化学総合資料(第一学習社) ・合金状態図読本(オーム社)
- ・A Thermodynamic Study of phase Equilibrium in the Sn-Bi-Pb system (Seung Wook and Hyuck Mo Lee)
- ・The structure and melting character of sub-micron In-Sn and Bi-Sn particles (G.L.Allen and W.A.Jesser)
- ・The Bi-Pb (Bismuth-Lead) system ・ Bi-Pb-Sn system ・ The Pb-Sn (Lead-Tin) System (I. Karakaya and W. T Thompson)