

炭の作成条件や金属イオン添加による導電性の向上方法

Improvement of Electrical Conductivity of Charcoal in variation of Heating Temperature and Addition of Metal Ions

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年

柿澤 昂志

目的

近年、世界的に金属資源の枯渇が危惧されている。私は様々な工業製品において導電材として使用されている黒鉛に着目し、身近な木炭も金属の代替となるのではないかと考えた。本研究では木炭の導電性を向上させるための方法を検討する。

実験 1. 木炭の作成条件に関する実験

方法

(1) 木炭の作成方法

管状電気炉を用いて窒素中で加熱温度を 400℃から 1200℃において 200℃ごとに変化させ木炭を作成した。

(2) 作成した木炭の測定

(1)の方法で作成した木炭を以下の 3 点を測定した。

- ①四端子法を用いた木炭の 1 cm の電気抵抗値
- ②炭化前後の物質の質量変化
- ③炭化前後の物質の体積変化

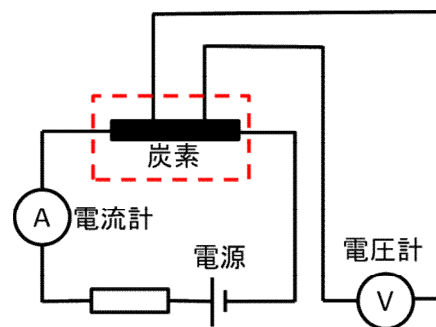


図 1 四端子法の回路図

(3) 電気抵抗値の測定法

ごく小さい電気抵抗値 ($1.0 \Omega/\text{cm}$ 以下)を測定するため、四端子法という図 1 の測定方法を用いて電気抵抗値を測定した。四端子法とは電流と電圧をそれぞれ分離して測定し、オームの法則より抵抗値を算出する方法である。

結果

図 2 ように、電気抵抗値は加熱温度が高くなるにつれ小さくなり約 1000℃以上になると約 1.0Ω で一定となった。質量・体積ともに加熱温度が高くなると減少し、約 1000℃で変化しなくなる。約 30 分以上加熱すると電気抵抗値、質量、体積は一定となったため、以降の実験では 30 分加熱した木炭を使用した。

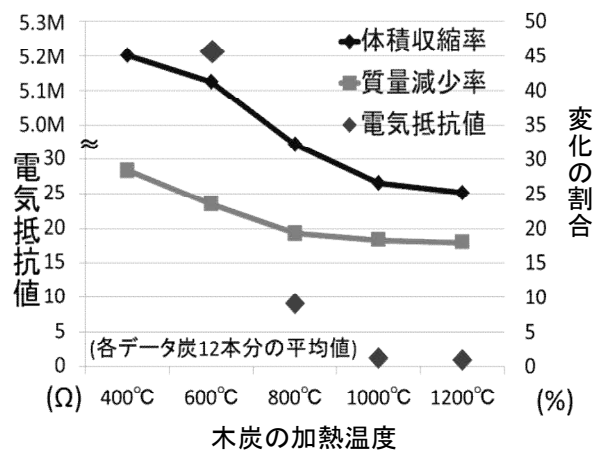


図 2 加熱温度と炭の状態との関係

考察

加熱温度を高くすると、木炭中に点在していた非結晶炭素が、少しずつ近くの炭素と小さな黒鉛の微細な粒子を形成すると考えた。その結果、導体である黒鉛の密度が少しずつ高くなるため、それに伴い電気木炭全体の抵抗値が低下したのではないか。

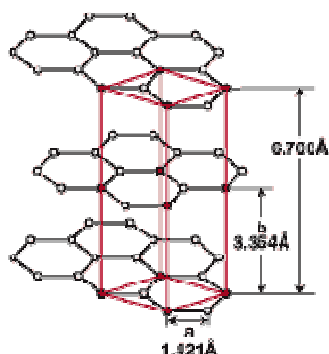


図4 黒鉛の構造

ただし、木炭は固体であるため、内部の非結晶炭素が完全に自由に動いて黒鉛に変化できるというわけではない。そのため木材を高温で加熱するだけでは木炭全体を黒鉛化させることは不可能であり、先述の考察のように隣接した炭素同士が結合し微細な黒鉛粒子を形成するにとどまったと考えられる。

実際に実用化されている人造黒鉛の製造方法は、融点が高いコークスを使用している。コークスは液相化した炭素が自由に移動でき黒鉛化しやすいという特徴がある。今回使用したセルロースの融点は約 6000℃といわれており、使用した実験機材では炭素が自由に移動できる液相にすることは困難であった。

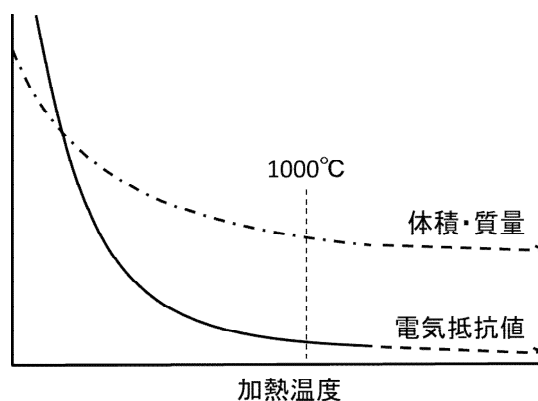


図3 加熱温度と炭の状態との予想

仮説

以上の考察から、ただ単に木材を加熱するだけでは、これ以上の電気抵抗値の低下は望めない。しかし木炭を完全に黒鉛化できなくとも、電気抵抗値を低下させるには『木炭中の黒鉛量を増やせばよい』ということである。よって木炭の表面に黒鉛化を促進させる触媒のような物質を吸着させることで、比較的低い加熱温度でも黒鉛量を増やし、電気抵抗値を低下させられるのではないかと考えた。以降の実験では、先行研究を参考に金属イオンを木炭表面に吸着させ木炭の導電性向上を試みた。

実験2. 木炭表面に金属イオンを吸着させた場合の導電性向上の実験

実験内容

(1) 先行研究

先行研究によると、400～500℃の加熱で生成した炭素材は活性炭のような性質を持つといわれている。活性炭の性質の一つとして、水溶液などに浸すと溶媒中のイオンや微粒子などを吸着することが挙げられる。金属イオンなどの荷電物質は、活性炭界面の水酸基やカルボキシル基等の官能基による化学的な引力によって吸着され、ほかの微細な粒子は活性炭表面の非常に微細な気孔で発生する表面張力の物理的引力によって引き寄せられる。

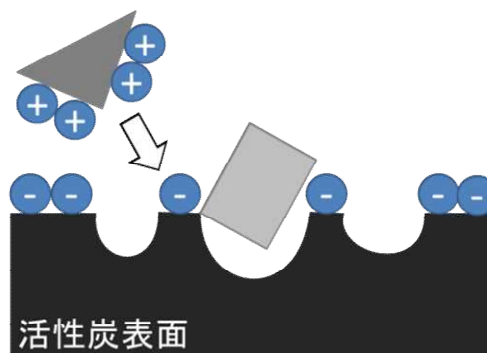


図5 活性炭表面の物質吸着の様子

また金属イオンを吸着させた後に、その木炭を高温で加熱すると、金属イオンが触媒の働きをしてその周辺の非結晶炭素の黒鉛化を促進し導電性が向上する事が知られている。

(2) 実験方法

本実験では金属イオンの導電性向上の効果を調べるため、400℃で生成した木炭を濃度の異なる以下の水溶液に 24 時間浸し、その後 1000℃で再加熱して電気抵抗値を測定した。溶質は陽イオンの価数の異なる塩化物を使用した。

表 1 実験で使用した金属イオン

溶質	陽イオン	価数	周期	化合物
NaCl	Na ⁺	1 価	3	Cl ⁻
MgCl ₂	Mg ²⁺	2 価		
AlCl ₃	Al ³⁺	3 価		

結果

図 6 のように溶質の濃度が大きくなるにつれて総じて電気抵抗値も低下した。しかしこの結果からはこの実験の変数である価数と電気抵抗値との間に直接的な関係は見いだせなかった。また水溶液濃度が小さすぎると無処理の木炭の電気抵抗値よりも大きくなるという結果になってしまった。

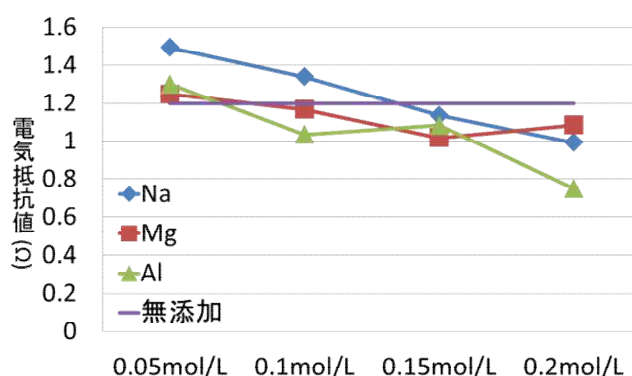


図 6 金属イオン濃度と電気抵抗値との関係

考察

以上の結果から、金属イオンの濃度が大きくなるにつれて、導電性も向上していることが分かった。今回使用した金属イオンには、どれも電気抵抗値を低下させる効果、すなわち黒鉛化を促進する触媒としての能力があると考えられる。

金属イオンが黒鉛化を促進する原理を完全には解明できなかったが、先行研究を参考に考察する。金属イオンが吸着された後に高いエネルギーを与えると、金属イオンが触媒としての役割を果たし、僅かながら何もない時よりイオン周辺の炭素が移動できるようになる。加熱温度を下げていくにつれて、供給熱エネルギーが小さくなるため、炭素が移動しにくくなると思われる。このとき、炭素はできるだけエネルギーが小さくて済む状態に安定しようとするだろう考えた。この安定した状態こそが黒鉛構造であるのではないかと。

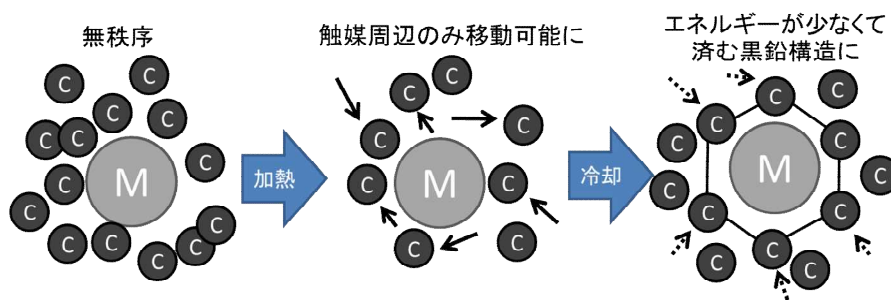


図 7 金属イオン周辺の炭素の動き

この考えだと、確かにイオンが届く範囲では黒鉛の量は増える。だがしかし黒鉛化されることができるのは金属イオンが到達する表面だけである。そのため木炭全体の黒鉛化は望めず根本的な解決とはなっていない。

表 2 黒鉛と作成した木炭の電気抵抗値

実際、黒鉛の電気抵抗値には大きな差がある。表面の黒鉛化が促進できても木炭全体の黒鉛化はほとんど進んでいないと考えられる。

	抵抗値 (Ω/cm)
黒鉛	0.0014
Na^+ 添加	0.99
Mg^{2+} 添加	1.08
Al^{3+} 添加	1.12

この問題を解決するための簡単な方法として、イオンを吸着させる木炭を粉末にする方法を考えた。粉末にして表面積を増やすことで金属イオンと接触できる範囲を増やすことで、黒鉛化される範囲も増えるのではないかと。今後、粉末炭への吸着方法を検討したい。

さらに少々本研究自体のテーマから逸脱するかもしれないが、この実験から考えられることを用いると、次のようなことも考えられるのではないだろうか。金属イオンが触媒のような効果を果たするのであれば、物理的もしくは化学的なアプローチでイオンを規則的に配列できれば、その周りに炭素を配置したのち、加熱・冷却によって比較的低温でも周りに黒鉛が生成されるはずである。金属イオンが触媒としてだけでなく、黒鉛の鋳型としての使用方法もあるかもしれない。

結論

- (1) 加熱温度を高くすると、電気抵抗値は低下し約 1000℃以上でほとんど一定となる。
- (2) 電気抵抗値が低下するのは、セルロースの炭素が、高温下で一部黒鉛化するためと考えられる。
- (3) 単に高温で加熱しても、木炭が固体のため炭素原子が移動できず、完全に黒鉛化できないため導電性は黒鉛に及ばないと考えられる。
- (4) 低温で作成した木炭に、金属イオンを添加し高温で再加熱することで、無処理で加熱した木炭に比べ電気抵抗値を低下させることができる。
- (5) 金属イオンが活性炭に吸着されたとき、金属イオンが触媒となり無処理に比べて低い温度でも黒鉛化を促進できると考えられる。

今後の展望

どの実験でも電気抵抗値が低下すると木炭内部の黒鉛の量が増える、と予想したが実際に黒鉛の量を計量できたわけではない。今後の実験の発展のためにこの木炭の黒鉛の含有量を簡単に計量できる測定方法を開発したい。これからの時代、確実に活躍の場が広がるであろう炭素材への理解を、今後さらに深めていけたらと思う。