炭素の酸化に伴う示差熱分析曲線の変化

本多敏雄*・斎藤 保*・堀口洋二**

(昭和47年11月30日受理)

A D.T.A. Study on the Oxidation of Carbon and Graphite

Toshio HONDA, Tamotsu SAITO and Yoji HORIGUCHI
Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Ibaraki-ken

The change of D.T.A. curve for carbon and graphite under air oxidation was studied by micro differential thermal analysis (D.T.A.) method.

By analysing the peak position, it was found that the temperature of the peak maximum (T_m) represents some intrinsic carbon properties: The T_m value seemed to correspond to its reactivity for oxidation, and a certain relation was observed with crystallite size $L_c(002)$ and lattice spacing C_o .

The D.T.A. curve for reactor grade graphite showed a single exothermic peak. In case of binary mixture of two types of carbon, some shifts of the peak positions in the D.T.A. curve was observed.

The peak shape and peak position for carbonized furfural-resin was found to vary remarkably with heat-treatment temperature. For the 2460°C H.T.T. sample, two sharp peaks was observed in x-ray diffraction profile and also in the D.T.A. curve under air oxidation. It was suggested that the 2460°C H.T.T. may be constituted of at least two kinds of carbons which had different oxidation reactivities.

1. 緒 言

炭素の酸化反応は、系の反応温度に応じて(イ)化学反応律速領域(ロ)試料内の空孔中の反応ガスまたは生成ガスの拡散が律速(ハ)試料表面での流体境界膜中の拡散が律速の3つの領域に区分しうることが知られており⁽¹⁾この低温での化学反応律速領域では、酸化は結晶構造の不完全な部分から選択的に進行するものといわれている。⁽²⁾⁽³⁾

一方、ここでとりあげた示差熱分析とは、物質を均一な加熱速度で昇温するさい生じた物理的あるいは化学的な変化を、それに伴う熱効果(エンタルピー変化)として観測し、温度あるいは時間の関数として記録する手段であって、このエンタルピー変化は特定の化学反応や相の変化に対応して一定のピークを与える。炭素の酸化反応がその製造履歴や結晶構造によって異なるものであれば、示差熱分析によって炭素材料の酸化挙動を検討しうる可能性があるものと思われる。

このような点から、示差熱分析法の炭素の酸化反応への応用の可能性を検討しようと考え、炭素の酸化に伴な

う示差熱曲線の再現性について実験を行ない、併せて各種炭素材料の酸化・示差熱曲線の変化を追跡した。

炭素の酸化反応への示差熱分析法の応用例は極めて少ないが、Hall, Rase⁽⁴⁾はシリカ-アルミナ触媒上に析出した炭素の酸化反応速度式を定示差温度法の示差熱分析で求めている。またSwaine⁽⁵⁾は石炭、天然黒鉛などの酸化に伴う示差熱曲線から、含有灰分量および炭素量の定量分析法への応用の可能性を論じている。

2. 実験方法

2.1 試 料

高純度分光分析用黒鉛(United National Carbon Co.), H-327原子炉用黒鉛(Great Lakes Carbon Co.), IM-2, IE1-24, SE2-24原子炉用黒鉛(Anglo Great Lakes Carbon Co.), LC-7477, LC-7477 PT(Le Carbon Co.), シースト116カーボンブラック(東海電極製造(株))をそれぞれメノウ乳鉢で200メッシュ以下に粉碎、アセトンで脱脂洗滌したものを試料として用いた。

また、塩酸を硬化剤として用いたフルフルール樹脂をアルゴン雰囲気、800℃で30分加熱保持後、徐冷し、

*日本原子力研究所, 燃料工学部: 茨城県東海村白方

**日本原子力研究所, 研究炉管理部: 茨城県東海村白方

再び黒鉛抵抗炉を用いて 2800℃ までの所定温度で各々 30 分熱処理したものを 200 メッシュ以下に粉碎, アセトンで洗滌し, 試料として用いた。粉碎前の炭化品の形状は, 約 4 mm 径 × 40 mm 長さの棒状試料である。

2.2 示差熱分析

理学電気製 8002 型マイクロ示差熱分析・熱天秤同時測定装置を用い, 乾燥空気約 80 cc/min の通流下で測定を行なった。熱天秤の較正は測定の開始前にその都度行ない, フルスケールは 2 mg に設定した。

示差熱分析の基準物質としては, 1000℃ で 2 時間煅焼した α - Al_2O_3 (200 メッシュ以下) を用いた。試料部の熱容量を一定に保つために基準部とみかけ上ほぼ等量となるような α - Al_2O_3 を熱的希釈材として用い, メノウ乳鉢で所定量の炭素試料と攪拌, 混合した。充てん操作は試料容器を 3 ~ 5 回軽く叩きながら, 試料を逐次充てんする方法によった。指示温度の較正は LiNO_3 の融解温度 (254℃), SiO_2 の転移温度 (573℃) により行なった。

3. 結果および考察

3.1 示差熱曲線の再現性

示差熱曲線の形, ピークの深さ, 面積に影響をおよぼす因子の大部分は熱の伝導に関するものであるが, 大別して (イ) 昇温速度, 記録計の応答速度などのような装置に関する因子と (ロ) 試料量, 希釈材の効果, 充てん密度などのような試料に関する因子によって影響を受ける。⁽⁶⁾ 特に本実験のように反応の進行に伴って生成物が系外に逸散するような場合には, 試料部の熱容量, 熱伝導率, 充てん度などのパラメーターは反応の進行とともに変化するので, その示差熱曲線に影響をおよぼす因子についてまず実験的検討を行なった。

(イ) 充てん方法と試料重量の影響

試料の充てん方法については (1) 試料と熱的希釈材を乳鉢で均一に混合して充てんする (2) 熱的希釈材を容器の底部に入れ, その上に試料をのせる二つの方法について比較検討した。Fig. 1 にアルミナで希釈, 混合した高純度分光分析用黒鉛の酸化・示差熱曲線のピーク極大温度, T_m と試料炭素重量比の関係を示した。試料の充てん性が大きく変らない場合には炭素のアルミナに対する重量比が 3 w/o ~ 14 w/o では T_m はほぼ一定の値を示し, またピーク立上り温度, T_0 についても同様な関係が認められる。なお, 本実験での試料採取量はアルミナの量を 18.7 ± 0.2 mg の範囲内に設定した。

(2) の充てん方法の場合は, T_0 はほぼ一定であったが, T_m の値は炭素試料量の増大とともに次第に高温側にずれる傾向を示した。また, この充てん方法の欠点は

Fig. 1 Relation between D.T.A. peak temperature and carbon weight percent for binary mixtures of Al_2O_3 powder and spectroscopic graphite at heating rate of 10°C/min.

操作の統一を行なうことが難しく, 例えば試料炭素を希釈材上に均一にのせることが困難である。この影響については, 希釈材上に試料をかたよらせてのせた場合の T_m の値は 20℃ 以上も変動することが認められた。

一方, マクロ示差熱分析装置に用いられる深皿型試料容器では (1) の充てん方法では容器底部に反応残渣の存在や示差熱曲線の形がくずれることが多く, T_m の値を読みとることが難しい。しかし, 本実験のように内径 5 mm 高さ 3 mm の薄皿型試料容器を用いた場合には (1) の均一混合充てん法が操作の統一の容易さ, 再現性の良さの面からみてすぐれている。

(ロ) 粒径の影響

試料粒径および粒度分布もまた示差熱曲線のピーク面積と T_m に影響を与えることが知られている。多結晶質黒鉛材の T_m におよぼす試料粒径の影響は 150 ~ 300 メッシュの範囲ではほとんど認められず, 示差熱曲線の図形から T_m の有意の差を読みとることはできなかった。

(ハ) 昇温速度の影響

一般に昇温速度 (ϕ) を大きくすると T_m は高温側にずれることが知られている。炭素の酸化・示差熱曲線の場合にも同様な傾向が認められる。例えば, 分光分析用黒鉛での昇温速度, $\phi = 3^\circ\text{C}/\text{min}$ での T_m が 647℃ であるのに対し ϕ が 5, 10, 15 $^\circ\text{C}/\text{min}$ と大きくなるにつれ $\phi = 3^\circ\text{C}/\text{min}$ とのピーク極大温度差は各々 28, 51, 85℃ だけ高温側にずれることが認められた。

Kissinger⁽⁷⁾ は, ピーク極大温度は昇温速度に依存し, その関数関係を調べると反応機構を決定する根拠となることを提案している。これによれば $\ln(\phi/T_m^2)$

を $1/T_m$ に対してプロットし、両者の間に直線関係が成立すればその勾配は $-E/R$ を与えるとするものである。ここで E は活性化エネルギー、 R はガス定数、 T_m は絶対温度である。Fig.2 に Kissinger の解析法に従って、分光分析用黒鉛での実験点をプロットした。この両者の間には明瞭な直線関係が認められ、この勾配から $E = 32.3 \text{ kcal/mol}$ と求められる。しかし、Kissinger の解析法の適用については、いくつかの仮定が必要であり、本実験の結果を空気酸化反応のみかけの活性化エネルギーとしてとりあつかうには、若干の問題が残されている。

3.2 黒鉛の酸化・示差熱曲線

多結晶質黒鉛の酸化に伴う示差熱曲線の形は黒鉛の材質によって異なり、なだらかなあるいは鋭い1つの発熱ピークを示す。

Fig.3 にその一例として、高純度分光分析用黒鉛の酸化に伴う示差熱曲線と熱天秤の結果を示した。酸化重量曲線の減少がはじまるのとほぼ等しい温度から示差熱曲線の立上りが認められ、重量減少率が約50%での温度領域に示差熱曲線のピーク極大温度、 T_m が存在する。本実験で用いた原子炉用黒鉛では、 T_m は黒鉛の銘柄によって異なり、一定の測定条件では各銘柄について個々の T_m の値を与える。

示差熱分析の種々の理論に従えば、ピーク面積と試料量は正比例するはずであり、また副反応がなく反応生成物の生成比が一定であれば示差熱曲線のピーク面積は反応速度にほぼ比例するものとしてとりあつかえる。しかし、本実験のように試料の反応熱が極めて大きく（炭素として 7800 cal/g ）、かつ反応の進行に伴って生成物が系外に逸散するような条件では、示差熱曲線の基準線の変動は大きいものと考えられ、正確なピーク面積を読みとることが困難である。このような点から、ここで

Fig.2 Effect of heating rate on the temperature of peak maximum depicted by Kissinger's method.

は炭素の酸化・示差熱曲線を特性づける1つの指標として、 T_m の値を採用することとした。

示差熱曲線の基準線からの高さは、主としてそのときの反応速度に比例すると考えられるから、 T_m が高温側に存在する黒鉛材ほどより酸化し難いものであろうことが推測される。Fig.4 に野村、今井ら⁽⁸⁾の同一試料につ

Fig.3 D.T.A. and T.G.A. curves under air oxidation for spectroscopic graphite at heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$.

Fig.4 Relation between the temperature of peak maximum and oxidation reactivity rate with H_2O vapour at 1025°C .

いての高温水蒸気下における酸化反応速度と T_m の関係を示した。これによれば、全体的な傾向としては T_m の高い黒鉛材ほど酸化反応速度が小さい、すなわち酸化し難いことを示していると考えられる。

黒鉛の酸化機構を、黒鉛構造における層面に対して平行な方向よりアタックする、即ち層面の端の炭素原子が酸化性気体によってアタックされて酸化されるものと、層面に垂直な方向よりのアタック、即ちエッチ・ピットを形成するものとに大別すると、黒鉛の結晶が十分に大きい場合には、後者は前者に比較して無視できる程度のものである。従って、多結晶質黒鉛材の T_m と酸化反応性との間に一定の対応関係があるならば、 T_m とそのX線定数との間にも何らかの対応関係のあることが期待される。Fig. 5に T_m と面間隔、 $C_{0(002)}$ およびC軸方向の結晶子の大きさ、 $L_{c(002)}$ との関係を示した。これによれば、面間隔の小さいものほど T_m は高温側に存在し、両者の間には直線的な関係があるようにみうけられ、また結晶子の大きさが大きいものほど T_m は高温側にあることが認められる。しかし、黒鉛中に各種の欠陥や不純物が導入されることにより、黒鉛構造の層面に垂直な方向の酸化の寄与も無視できなくなるような場合には、この T_m と結晶子の大きさとの関係はもっと複雑なものになるものと思われる。

一方、多結晶質黒鉛での酸化・示差熱曲線のピーク立上り温度は T_m と異なり、黒鉛の材質による差が少なかった。例えば、不純物の比較的多い黒鉛材LC-7477のピーク立上り温度のみが497℃と低い値を示すものの、その他の原子炉用黒鉛では530～540℃の範囲にあって特に顕著な差は認められなかった。

3.3 機械的混合物の酸化・示差熱曲線

一定の測定条件で T_m が黒鉛材料の各銘柄について固有の値を示すものであれば、材質の異なる炭素の機械的混合物の酸化・示差熱曲線には、分離されたピークが観測されるはずである。

Fig. 6に高純度分光分析用黒鉛とカーボンブラックの等量混合物の酸化・示差熱曲線を示した。カーボンブラックおよび分光分析用黒鉛の T_m が各々511、698℃であるのに対し、その機械的混合物の酸化・示差熱曲線は T_m が511℃の比較的鋭いピークと662℃に極大を有するなどかなるピークの2つの発熱ピークが認められる。ここで前者の発熱ピークはカーボンブラックに、後者のそれは分光分析用黒鉛の発熱ピークに対応する。機械的混合物での分光分析用黒鉛の発熱ピークが36℃だけ低温側に移動しているのは、カーボンブラックが助燃材的な役割りを果たすことによるものと思われる。また、熱天秤曲線についても明瞭なクニク点の存在が認められ、

Fig. 5 Changes of lattice spacing and crystallite size with maximum peak temperature for reactor grade graphite.

Fig. 6 D.T.A. curve under air oxidation for binary mixture of carbon black and spectroscopic graphite at heating rate of 10°C/min.

酸化反応性の異なる2種類の炭素材料の混合物であることが示された。

一方、 T_m の差が小さい銘柄の混合物では、Fig. 6のような明瞭なピークの分離は認められず、1つの発熱ピークしか観測されなかった。例えば、ピーク極大温度の差が41℃と比較的小さい種類の試料、原子炉用黒鉛H 327 ($T_m = 741^\circ\text{C}$)とLC 7477 ($T_m = 663^\circ\text{C}$)の等量混合物では、その酸化・示差熱曲線のピーク極大温度は単味試料の中間の温度、 $T_m = 669^\circ\text{C}$ を示し、1つの発熱ピークしか認められなかった。

LC 7477が助燃材的な役割りを果たすことによってこのH 327の T_m が低温側に移動するものであれば、機械的混合物のピーク極大温度もその混合重量比の関数とし

て変化することが考えられ、またピーク立上り温度についてはその混合重量比の如何にかかわらず一定の値を示すものと思われる。このような点から Fig. 7 に H 327 黒鉛と LC 7477 黒鉛の機械的混合物の T_m および T_0 と混合重量比の関係を示した。より高い T_m を示す H327 黒鉛の重量割合が大きくなるにつれ、その機械的混合物の T_m も次第に高温側にずれ、H327 の混合重量比が 50 w/o 以上の領域では T_m との間に直線な関係のあることが認められる。また、ピーク立上り温度については測定値のバラツキはあるものの、全体的な傾向としては LC 7477 のピーク立上り温度にほぼ等しい一定の値を示しているものと考えることができる。

Fig. 7 Relation between D.T.A. peak temperatures and composition of mixtures of two types of reactor grade graphites.

3.4 フルフルール樹脂炭の酸化・示差熱曲線

材質の異なる 2 種類の炭素の単純な機械的混合物では 2 つの分離された発熱ピークが観測されたが、結晶構造の異なる炭素質が単一な固体中に共存するとされる場合、代表例としては部分黒鉛化を示すような硬質炭素ではどのような酸化・示差熱曲線の図形が観測されるのであろうか。ここで分離された酸化・示差熱曲線のピークが観測されるならば、いわゆる X 線複合図形を示す炭素が、「二相あるいは多相黒鉛化」であることを示す一つの情報を与えるのではなかろうかと考えた。このような点から硬質炭素の一例であるフルフルール樹脂炭の 800°C から 2800°C までの熱処理品について、その酸化・示差熱曲線の変化を追跡した。

Fig. 8 D.T.A. and T.G.A. curves for carbonized furfural-resin heat-treated at 800°C.

Fig. 8 に 800°C 処理品の酸化・示差熱曲線と熱天秤の結果を示した。この示差熱曲線には 488°C と 540°C に鋭い 2 つの発熱ピークが存在し、また熱天秤曲線にもクニック点の存在することが認められる。

以上のべてきた実験結果に従えば、これらの図形の変化は、800°C 処理品が酸化反応性の異なる少なくとも 2 種類の成分（おそらくは炭素質）の集合体であることを推測させる。また、ここで興味深い点は、800°C 処理品の X 線回折図形が非常に広がった単一の図形——構造的には稲垣、神谷⁽⁹⁾のいう硬質炭素における「構造が未だ明らかでない成分 B」に対応するものと考えられる——を示すのにかかわらず、酸化・示差熱曲線では 2 つの鋭い発熱ピークが認められることである。

Fig. 9 にフルフルール樹脂炭の各熱処理温度における酸化・示差熱曲線の変化を示した。熱処理温度が 800°C から 1800°C と増大するにつれ、高温側の第二のピークが次第に発達し、2000°C 処理品では 1 つの鋭い発熱ピークを示す。またピーク極大温度も熱処理温度の増大とともに次第に高温側にずれる傾向が認められる。熱処理温度が 2200°C と高くなると、2000°C 処理品の酸化・示差熱曲線の高温側に小さな肩つきが現われ、2460°C 処理品ではこの肩つきのピークの発達が明瞭に認められる。さらに熱処理温度が高くなると、この肩つきの部分が発達した 1 つの鋭い発熱ピークを示す。

Fig. 9 の結果から読みとれるように、フルフルール樹脂

脂炭の熱処理に伴う酸化・示差熱曲線の変化は極めて顕著であって、これらの図形の変化はフルフラール樹脂炭の結晶構造の差あるいは結晶構造の乱れなどの構造的な因子と示差熱分析から得られる情報——ピークの深さ、面積やピーク極大温度——との間には一定の関係があることを示唆しているように思われる。

この課題の解決のためには定量示差熱分析法の応用、例えば各ピークの反応熱を求め、これから試料の組成、構造に関する情報を求めることが考えられる。しかし、示差熱分析法⁽¹⁰⁾は他の絶対法によって得られた値を標準とする相対的な測定手段であるので、示差熱分析法の独自の利点を生かして他の方法では応用困難な分野へ応用して定量的測定を試みるのが極めて難しいという問題がある。

改めてのべるまでもなく、Fig.9での各々の発熱ピークがどのような炭素質成分に対応するものであるかを、示差熱曲線の結果から明らかにすることはできない。ただ、熱処理温度 2460℃ 処理品での酸化・示差熱曲線に明瞭な肩つきが出現することについては、X線回析図形の変化 (Fig.10) が良い参考になる。2460℃ 処理品では、面間隔、 $d_{(002)} = 3.40 \text{ \AA}$ と $d_{(002)} = 3.36 \text{ \AA}$ にピークのあるX線複合図形を示し、2600℃ 処理品では $d_{(002)} = 3.36 \text{ \AA}$ のピークがさらに立上っていることが認められる。ここで前者の面間隔は硬質炭素のマトリックス中の graphitizable 相に、後者のそれは graphite 相に対応⁽¹¹⁾しているものと考えられる。示差熱曲線の結果とも併せると、X線複合図形を示すフルフラール樹脂炭は、酸化反応性の異なる少なくとも2種類の炭素質の集合体であり、この場合には結晶構造の異なる少なくとも2種類の炭素質の集合体であることを示していると考えられる。

しかし、2600℃ 処理品ではX線複合図形を示すにもかかわらず、示差熱曲線では1つの発熱ピークしか示さない。その理由は、主として3.3節でのべたような各成分の量的割合の変化や各成分間のピーク極大温度の差が小さくなることによるものではないかと思われる。

4. 総 括

示差熱分析によって炭素材料の酸化挙動を推測しうる可能性があるのではないかと考え、その一つの試みとして、炭素の酸化に伴う示差熱曲線の再現性について検討を行ない、併せて各種炭素材料の酸化・示差熱曲線の図形の変化を追跡した。その結果は次のように総括される。

(イ) 一定の測定条件では炭素、黒鉛の酸化・示差熱曲線のピーク極大温度は再現性のある値を示す。

(ロ) このピーク極大温度は炭素、黒鉛の材質、銘柄によって異なり、各々に個有の値を示す。

(ハ) 多結晶質黒鉛材では、このピーク極大温度が大

Fig.9 D.T.A. curves for carbonized furfural-resin heat-treated at different temperatures.

Fig.10 X-ray diffraction profiles for carbonized furfural-resin which heat treatment temperatures at 2460 and 2600 °C.

さいものほどより酸化し難い傾向のあることが認められ、今後実験条件について更に詳細な検討を行なうならば、このピーク極大温度は炭素、黒鉛の酸化反応性を示す定性的な指標となりうる可能性があるものと考えられる。

(二) 酸化・示差熱曲線の結果から、X線複合図形を示すフルフラール樹脂炭は酸化反応性の異なる少なくとも2種類の炭素質の集合体であろうと考えられる。また、その熱処理温度に伴う酸化・示差熱曲線の変化は顕著であって、今後のその応用としては、例えば構造が比較的不明確であるような炭素化過程での炭素の構造特性を補強するための有用な情報をもたらすものと期待される。

本実験にあたり御教示を賜った東京大学高橋洋一助教授に感謝の意を表します。御批判、御討論を頂いた原研、黒鉛材料研究室の諸氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Nightingale, R. E. : "Nuclear Graphite", Academic Press, p394 (1962)
- 2) Watt, J. D. and R. E. Franklin : "Industrial Carbon and Graphite", S. C. I. p321 (1958)
- 3) 野田稻吉, 稲垣道夫, 神谷寛一 : 工化 67, 8 (1964)
- 4) Hall, J. W. and H. F. Rase : IEC Process Design Develop., 2, 25 (1963)
- 5) Swaine, D. J. : "Thermal Analysis" Vol. 2, Academic Press, p1377 (1969)
- 6) Wendlandt, W. W. 著, 笛木和雄, 柳田博明, 高橋洋一 共訳 : "熱的分析法", 産業図書, p118 (1967)
- 7) Kissinger, H. E. : J. Res. Natl. Bur. of Stand., 57, 217 (1956)
Anal. Chem., 29, 1703 (1957)
- 8) 野村真三, 今井久, 黒沢武, 藤井貴美夫, 佐々木泰一 : 未発表 (JAERI-memo 4792 (1972))
- 9) 稲垣道夫, 神谷寛一 : 炭素, 1971 (No. 66) 76
- 10) 小沢丈夫 : "化学の領域" No. 78, 89 (1967)
- 11) Oberlin, A. and F. Rousseaux : J. Appl. Cryst. 3, 105 (1970)

炭 素 投 稿 規 定 (抄)

1. 投稿原稿

- 1.1 投稿原稿は和文または英文の論文、総合論文、ノートおよび総説とする。
- 1.2 和文の投稿原稿は本会所定の原稿用紙を用いて、ひらがな混り、横書きとし、やむを得ない専門用語以外は当用漢字および新かなづかいを用いる。
- 1.3 英文の投稿原稿はタイプ用紙にダブルスペースでタイプする。

2. 論 文

- 2.1 投稿論文は印刷物として未発表のもので、広く炭素材料についての独創的な研究で、価値ある結論あるいは事実を含むものであると編集委員会が認めた場合掲載される。またその主内容をすでに欧文で発表したものでも、その後の研究結果の補足によって、その研究の価値が高められたと編集委員会が認めたものについては掲載が許可される。
- 2.2 投稿論文には必ず200~300語の英文要旨を添えなければならない。英文要旨には題名、著者名、所属機関とその所在地の公式英訳名を記す。
- 2.3 原稿の長さは、原則として刷り上り6ページ以内とする(本会所定の原稿用紙6枚で刷り上り1ページに相当)。

3. 総合論文

- 3.1 すでに論文として発表したもの2編以上をあわせて、総合的に書き直したもので、編集委員会が適当と認めたものは、総合論文として掲載される。
- 3.2 総合論文は論文に準じて書き、英文要旨を必要とする。
- 3.3 原稿の長さは原則として、刷り上り10ページ以内とする。

4. ノート

- 4.1 断片的な研究ではあっても、新しい事実や工学的価値ある内容を含むもの、あるいは本誌掲載の論文等についてのコメント、討論で掲載の価値あるものと編集委員会が認めた場合、ノートとして掲載される。
- 4.2 原稿の長さは原則として、刷り上り2ページ以内とし、題名、著者名、所属機関とその所在地の公式英訳名を付記する。

5. 原稿の取り扱い

- 5.1 投稿原稿は下記宛に送る。
東京都文京区湯島1-5-31(第一金森ビル)
科学技術社内 炭素編集部宛
〒113 TEL 03-815-8163, (直) 815-3988