技術

105. 活性炭を用いた気中ラドンの測定法

実用上の基礎的検討

下道国*, 池辺幸正*, 前田淳*,
上村力也**, 林叶**, 石黒明**

(1983年 1月27日 受理)

*Experimental Study of Charcoal Adsorptive Technique
for Measurement of Radon in Air*

By Michikuni SHIMO, Yukimasa IKEBE, Jun MAEDA,
Rikiya KAMIMURA, Kanou HAYASHI and Akira ISHIGURO

A method for sampling of Rn in air was experimentally studied. Radon gases flowing at 5 l/min are adsorbed on activated charcoal (5 g) in a column which is set in a coolant with dry ice and ethanol. The adsorbed Rn is transferred to an ionization chamber by heating the charcoal trap. The activity of Rn is then determined by the currents. The gross collection efficiency of this system was evaluated to be 0.88 ± 0.05 in the region of $50 \sim 1,200$ pCi/m³. An example of measurements obtained by this method is presented. The air concentration of Rn in a closed room is found to be $4,000 \sim 5,000$ pCi/m³.

KEYWORDS: charcoal adsorptive technique, radon, air, activated charcoal, adsorption, coolants, flow rates, desorption, ionization chamber, collection efficiency, concentration

I. 序 言

自然大気中の ²²²Rn(Rn)を測定する手段の1つとして、古くから活性炭を吸着剤として用い、捕集したRnの強度を測定する方法が用いられてきた⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。活性炭自体は吸着剤として広範な分野で日常的に大量に使用されているため、種々の気体について吸脱着に関する諸特性が調べられている。それにもかかわらず、冷却した活性炭で大気中のRnを捕集した後、高温で脱着して電離箱に封入し、その放射能を計測する方法(以下、活性炭法)については、現在まで実用的な見地からの検討が十分に行われてきたとは必ずしもいい難い。

本研究では、低濃度である大気中のRnの捕集から測定に至る一連の手順について詳しく検討し、活性炭法としての手法を確立することを目的とした。検討した主な項目は次の諸点である。①必要とする活性炭量、②Rn吸着時の温度と流量および捕集時間、③脱着時の温度特性、④活性炭充填層のRnに対する捕集効率とそこからの離脱率および装置全系の総捕集効率、⑤捕集時の試料濃度に対する吸着依存性と湿度の影響、

である。また、電離電流値から濃度を求めるための値付け実験を、既知の強度の²²⁶Ra溶液から発生させたRnを使って行なった。本報では、上記の項目について詳しく述べるほか実測例も示す。

II. 実験装置と捕集・測定条件

1. 測定装置と操作手順

(1) 測定装置

本研究で使用した活性炭充填カラム(CP)の断面とRn捕集系ならびに脱着・測定系の概略をFig.1に示す。CPは内径7 mm, 全長1,300 mmの銅パイプをU字型に曲げたものである。管内には活性炭のほか、通気時に活性炭が管から突出するのを防止するためのグ

* 名古屋大学工学部原子核工学教室(Dept. of Nucl. Eng., Fac. of Eng., Nagoya Univ.)

** 鳴海製陶(株)(Narumi China Co.)

** 技研興業(株)総合研究所(Tech. Lab., Giken Kogyo Co.)

** 三菱原子力工業(株)(Mitsubishi At. Power Ind., Inc.)

Fig. 1 Schematic diagrams of charcoal trap (CP), sampling system and outgassing system

ラスウールと銅線の塊りが押えとして入っている。

冷媒にはドライアイスとエタノールの組合せを用いた。捕集操作中はドライアイスを絶やさないようにして、約 -73°C の温度を保った。ただし、入荷直後のドライアイスを使用した場合、 -90°C 近くまで冷却されることがあった。

CPの上流側にグラスウールを詰めた銅パイプ(GP)を接続したのは、試料空気中の水蒸気をこれで捕捉することによってCPに入るのを防止するためである。GPは内径20mm、長さ1,300mmで、詰めたグラスウールの長さは約150mmである。

Rnを脱着するための電気炉には約 $1,000^{\circ}\text{C}$ まで加熱できるようにしたマントルヒータを使用した。Rnを脱着させる時に使用するバージガスにはArを使った。脱着系で使用する乾燥筒(CaCl₂)は、万が一CP内に水蒸気が入った場合でも電離箱へ入るのを防止するためのものである。また、活性炭の微粉末などエアロゾルが電離箱に入るのを防止するためにフィルタ(ミリポアフィルタSC)を使用した。

電離箱には1.5L円筒型(OHKURA, I4050/1)を、電流測定には振動容量型電位計を用いた。なお、電位計の高抵抗は必要に応じて検定をした。電離箱への印加電圧は180Vとした。

(2) 操作手順

Fig. 1に示した吸着・脱着系の操作手順は次のとおりである。

- (1) 捕集系に試料空気を所定の流量で流す。
- (2) 捕集終了後、CPを冷媒に浸した状態でArを4 l/minの流量で2 min間流してCP内の空気をArに置換する。
- (3) 電気炉に入れる直前にCP内を排気した後、あらかじめ熱してある電気炉にCPを入れ、5 min間加熱する。
- (4) この間にCPを除く残りの系を換気した後、電離箱側のCPのコックを開にする。
- (5) 5 min間の加熱後、CPを電気炉に入れたままの状態にArガスを流しながらRnを追いつ出す。この時、電離箱内が1気圧となるようにマンメータで確認しておく。

2. 活性炭の種類と量

使用した活性炭はT社製2GS(直径2mm、長さ2~4mmの円筒状顆粒)である。その品質の概略をTable 1に示す。使用量は5gである。Fig. 2に、既知の強度のRnとそれを5gの活性炭に吸着させて得られた電離電流値(吸着後、脱着させ、それを電離箱に入れて測定した値)との関係を示したが、15~1,000 pCiの範囲で直線性が成立していることがわかる。これから、この範囲ではRnが飽和吸着量に達していないと判断した。この結果と測定の対象としている大気中のRn濃度が10~1,000 pCi/m³で、かつ空気のサンプリング量が約0.3m³であることを考慮して、活性炭は5gで十分の量であると判断した。

Fig. 2 Relation between Rn activity and ionization current

Table 1 Characteristics of activated charcoal

Density of bulk	0.41 g/ml
Density of particle	0.71 g/ml
Mean diameter	1.9 mm
Specific surface area	1,320 m ² /g
Porosity	42%
Whole capacity of pore	0.874 ml/g

3. 捕集条件の設定

(1) 吸着系

a. 温度

冷媒温度を -73°C 以下に保持できることは前述した。本法の使用では動的条件であるため、CP 内の温度が冷媒温度より高くなることが予想される。そこで、CP 内の活性炭層内の 3 点(層の上面より 40, 130, 220 mm)とその上流および下流側に各 1 点ずつ合計 5 点で、銅-コンスタンタン熱電対を用いて温度を測定した。流量は 5 l/min とした(特に断らない限り、以後の実験ではこの流量を使用している)。Fig. 3 に示した結果で明らかとなり、冷媒温度が -76.5°C の場合、活性炭層に到達する直前の試料空気は冷媒温度までは十分に下がっていないが、B 点では -70°C に、D 点では冷媒温度まで冷却されている。この時の C 点

Fig. 3 Temperature distribution of charcoal layer

の温度はD点より幾分高かったが、他の冷媒温度の例も考慮すると、C点とD点とではほとんど差がないと判断できる。したがって、実効的な活性炭層の温度は数℃以内の範囲で冷媒温度と等しいとみてよい。

次に、以下に述べる実験方法でRn吸着量の温度依存性を調べた。まず、 -73°C で吸着させ電離箱で電流値を測定したRnを再びArに混入させて試料気体とし、それを再び所定の温度で吸着させ電離箱で測定するという方法である。冷媒温度を変えた時、試料気体中のRnのうちの吸着されたRnの割合をFig. 4に示す。

Fig. 4 Temperature dependence of amount of adsorption

なお、データは後述の総捕集効率の補正がしてある。吸着Rnの割合は -60°C 以上で著しく温度に依存するが、それ以下では一定であることが明らかとなった。それゆえ、 -73°C ではほぼ100%吸着していると考え、本装置のドライアイスとエタノールの組合せは冷媒として満足すべきものであると判断した。なお、同図中にBeckerら⁹⁾およびMegumiら¹⁰⁾のデータも入れたが、これについては考察のところで述べる。

b. 流量

動的条件下での試料捕集においては、Rn吸着量が流量に依存するかどうか確認しておく必要がある。そこで、Rn吸着量と流量との関係をRn濃度を変えて調べた結果をFig. 5に示す。同図の縦軸にはRn濃度に比例する電流値をとった。この結果は、 10 l/min 以下の流量では吸着量が流量に依存しないことを示している。流量とCPの直径および活性炭層の長さから、Rnが活性炭と接触している時間が決められる。この実験結果を、 0.5 s 以上の接触時間では吸着に差がないと読み替えることができる。本実験から、この装置での流量を 5 l/min と決定した。

c. 捕集時間

Rnの半減期が 3.83 d であるから、捕集中の崩壊に

Fig. 5 Relation between ionization current and flow rate

よる減衰を無視してよい。注意を要することは、捕集中に除湿パイプが詰まることにより流量が変わることであるが、 5 l/min で3 hの捕集中ほとんど変化がなかった。捕集中に空気中のRn濃度が変動することを別にすれば、捕集時間を1 hとすることは特に差し支えない。

(2) 脱着系

a. 脱着温度と時間

Rnを追い出す時の加熱温度依存性を調べた。まずあらかじめ所定の温度まで加熱してある電気炉にCPを入れ、 5 min 後にArでRnを追い出し、その電離電流を測定した①。次に電気炉の温度を 800°C まで上げて 5 min 間加熱した後、再び脱着操作を行い電流値を測定した②。その結果、操作①で温度を 100°C 以下とした時には操作②でも電流値が検出された。しかし、操作①で $120\sim 600^{\circ}\text{C}$ の範囲では、もはや操作②では電流値は測定されなかった。それゆえ、約 200°C 以上ではRnがほぼ100%脱着されると判断した。

b. バージガスと流量

Rnを追い出すためのバージガスには、高温でも活性炭と反応を起こさないガスという条件から、Arを用いた。追い出し流量は 4 l/min とした。

4. 捕集効率

(1) 漏洩率

前節までに定めた使用条件で操作した時, CP に捕捉されないで抜けていく漏洩率を知っておかなければならない。この評価のための実験を次の要領で行なった。2本のCPをカスケードに接続し, 上流側のCPに吸着されたRn量に対する下流側CPのRnを求めるという方法をとった。これから得た漏洩率は, Table 2に示す結果で明かなように, 約0.4%のわずかな漏洩が認められた。これをCPとしての捕集効率に直すと0.996となる。

Table 2 Collection rate of CP arranged in series

Run	Sample (pCi/m ³)	Adsorbed Rn	
		1st CP (%)	2nd CP (%)
1	8,710	100	0.5±0.1
2	7,560	100	0.4±0.1
3	5,640	100	0.3±0.1
Mean			0.4±0.1

(2) 離脱率

ここでいう離脱率は前項の漏洩率とは異なり, Rnフリーあるいは初期の濃度より低い濃度のガスの通過によって, 活性炭に吸着されていたRnが低濃度ガスの方に移行する割合とする。これを調べるために, Rnを吸着させたCPと, Rnを吸着させていないCPとをカスケードに接続して両方とも冷媒に浸し, Rnフリーである混合気体あるいはArを通気した。もし初段のCPからRnの離脱があれば, それは第2段で吸着されるはずである。実験は100lのRnフリー気体を5

l/minの流量で流した。結果をTable 3に示す。いずれの気体の場合も, 第2段目CPに吸着されたRnは初段CPの0.6%と微量であった。

Table 3 Desorption of Rn from charcoal when Rn-free gases passed

Run	Sample (pCi/m ³)	Adsorbed Rn		Purge gases
		1st CP (%)	2nd CP (%)	
1	5,870	100	0.6±0.1	Research air
2	8,540	100	0.5±0.1	Research air
3	14,500	100	0.5±0.04	Ar
Mean			0.6±0.1	

Amount of purge gases flowed: 100 l
Temperature: About -73°C.

この結果より, 20min以内では一度吸着したRnが捕集中に離脱する量は極めて少なく, 無視しうる量と判断した。20minより長い時間についても調べておく必要があり, 厳密には活性炭のRnに対する破過特性を求めておくべきである。しかし本結果と, 総流量とRn濃度との比例直線性が良好であることを示すFig. 7から, 3h以内の捕集時間ではその間の離脱は無視しうると判断した。

(3) 総捕集効率

本装置の主だった個々の捕集効率や諸特性は前述のとおりであるが, 最も必要なのは装置全体としての捕集効率(総捕集効率)である。そこで, 試料空気を捕集・測定した後, 再びそれを試料気体に調整し直した上で捕集・測定するという操作を繰り返すことにより, 総捕集効率を調べた。結果をFig. 6に示す。図中 dilution は大量の空気で希釈した調整試料であり, direct は希釈操作をしない場合である。両者に差はないと考えて

Fig. 6 Rn adsorption efficiency of CP system as a function of ionization current

よい。系の途中での損失がなく、実験中の放射性崩壊による減衰分を補正すれば、総捕集効率は当然1となるはずであるが、実験では 0.88 ± 0.05 となった。このことは後述する。

5. 捕集上の特性

(1) 総流量依存性

試料空气中的Rnと電離電流との関係を調べるため、試料濃度を $50 \sim 1,200 \text{ pCi/m}^3$ まで変えて総流量と電流値との関係をみたのがFig. 7である。同図は、どの濃度でも両者の直線関係がよく成立していることを示している。なお、本実験では流量を 5 l/min としており、それぞれの濃度で20minから3hの捕集を行なった(必ずしもすべての濃度について全部行なったわけではない)が、捕集時間が長過ぎて悪影響があるということとはなかった。前述したように、このデータが第II-3(1)-c項で述べた捕集時間決定の基と、II-4(2)の離脱率の判断材料となっている。

Fig. 7 Relation between ionization current and amount of flow under various Rn concentration

(2) 濃度依存性

前述のデータを整理し直すことによって、Fig. 8に示す試料のRn濃度(期待値)と電離電流値(測定値)と

の関係が得られる。同図は $50 \sim 1,000 \text{ pCi/m}^3$ の範囲で極めてよい直線性を示しており、大気中のRn濃度(約 100 pCi/m^3)の測定に本装置が支障のないことを示している。

Fig. 8 Relation between measured Rn concentration and expected one

(3) 試料空氣の湿度の影響

試料気体の除湿を目的としてGPを用いているが、実際の試料空氣の湿度が捕集・測定に及ぼす影響を調べた。実験は試料空氣の相対湿度をコントロールして相対湿度で $0 \sim 92\%$ の範囲で行なった。1hの捕集時間で測定電流値はまったく変わらなかった。また流量の変化もなかったことから、湿度の影響は考慮する必要がないと判断した。

6. Rn濃度と電離電流値との関係

(1) 実験による値付け

電離電流値からRn濃度を求めるためには、既知のRn濃度と電離電流値との関係を実験的に知ることが簡明である。このための値付け実験を以下のように行なった。まず、強度既知の ^{226}Ra 溶液が入った洗気ビンを十分に通気して既存のRnを追い出した後、一定時間放置する。Rnが適量蓄えられた後に、洗気ビン容積の100倍の空氣を流して、容積既知(937 l)の容器にRnを移す。そこからその一部を電離箱(1.5 l)にサンプリングする。洗気ビンにおけるRn蓄積時間を変えて電流値を測定した。その結果をFig. 9に示す。同図から、 10^4 pCi/m^3 の濃度の空氣を1.5 l電離箱に封入して、 0.0202 pA の電離電流値が期待される。

Fig. 9 Relation between ionization current and Rn concentration

(2) 理論的關係

計算による Rn 濃度 Q (pCi/m³) と電離電流値 i (pA) との關係は次式で表わされる。

$$i = e \frac{E}{W} Q V \cdot 3.7 \times 10^{10} f \quad (1)$$

ここで, e : 素電荷 1.6×10^{-19} C

E : Rn, ^{218}Po , ^{214}Po から放出される α 線のエネルギーの和 19.17 MeV

W : 空気の α 線に対する W 値 35.5 eV

V : 試料気体量 1.5 l

f : 補正因子

補正因子は主に次の3点である。すなわち, ①柱状再結合の補正, ②電離箱の壁による α 線飛程損失の補正, ③崩壊による減衰分の補正である。著者らの既報の成果に基づき⁽⁹⁾, それぞれ 0.987, 0.47, 0.985 となるから $f = 0.46$ とした。なお, 電流値の読取りは Rn 封入 4 h 後とした。(1) 式を Fig. 9 に実線で示した。これによれば, 10^4 pCi/m³ の Rn 濃度は 0.022 pA の電流値を与え, 実験から求めた値とはおおむね一致した。

(3) 濃度計算式

実測では試料気体の捕集量は V m³ であるから, 実測電流値 I^* (A) から気中の Rn 濃度 Q pCi/m³ を求める時には, $1.5 \times 10^{-3}/V$ だけ補正しなければならない。したがって,

$$Q = \frac{10^4}{0.0202 \times 10^3} \cdot \frac{1.5 \times 10^{-3}}{V} I^*$$

$$= 0.743 \frac{I^*}{V} \quad (2)$$

を得る。さらに, 装置の総捕集効率が 0.88 ± 0.05 であることと, 電離電流測定の際に電離箱内が空気ではなく Ar に置換されていることに基づく W 値の違いの2点を考慮して,

$$Q = 0.626 \frac{I^*}{V} \quad (3)$$

を得る。

III. 実測例

本装置を使って測定した結果の一部を Table 4 に示す。これらの結果は 1 h のサンプリング時間で, 屋外・屋内の濃度を十分に測定しうることを示している。屋内の測定はコンクリート建屋内の実験室で行なった。入口と窓および配管関係のすき間を綿テープで目張りした程度の粗い密閉状態であった。密閉後 1 日目で, 室内濃度は屋外値の 10 倍となったが, この程度の濃度 ($1,000$ pCi/m³) になると電離箱に直接室内空気をサンプリングしても測定可能である。この直接サンプリング法と本法とで同時測定して両者を比較したところ, ともに 45×10^3 pCi/m³ の値となり, 両者はよく一致した。

Table 4 Examples of Rn concentration in outdoor and indoor air

Time	Sampling air	Rn (pCi/m³)
June 1981	Outdoor	62 ~ 150
June 1981	Indoor	630 ~ 6,100
Sep. 1981		260 ~ 4,100
Jan. 1982		250 ~ 2,500

IV. 考 察

1. 吸着温度特性

一般に吸着現象は物理吸着と化学吸着とに大別され, 活性炭は主に前者による現象と解されている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。また, Rn の活性炭への吸着はヘンリー型吸着と理解されており, それは次式で説明されている⁽⁷⁾。

$$\log \frac{\gamma}{X} = \frac{a}{T} + b \log T + C \quad (4)$$

ここで, γ : 単位活性炭当りの吸着量 (g⁻¹)

X : 活性炭に吸着されないで単位空間に残っている Rn 量 (cm⁻³)

T : 絶対温度 (K)

a, b, c : 定数

この式に従ってFig. 4のデータを整理し直し、縦軸を γ/X 、横軸を $1/T$ で表わしたのがFig.10である。BeckerらおよびMegumiらの結果も同図に入れてある。同図から、著者らの結果とBeckerらおよびMegumiらとの間に違いのないことがわかる。

Fig. 10 Temperature dependence of adsorption coefficient obtained by Eq. (4)

一方、Fig. 4に示した吸着効率 β と、 γ, X との関係は次のとおりである。

$$\beta = \frac{\gamma W}{XY + \gamma W} \quad (5)$$

ただし、Y: 吸着空間容積(cm³)

W: 活性炭量(g)

この式を用いて計算したBeckerらおよびMegumiらのデータがFig. 4に示してある。同図で明らかのように、Beckerらのデータからは、0°Cではほぼ100%、50°Cで95%、100°Cでも80%の吸着効率となっている。Megumiらは地表面からRnの放出率を測定する研究に活性炭を用い、常温で90%程度のRn吸着率を報告している。

Rnの活性炭への吸着現象は、Fig. 10で示されているように、ヘンリーの式によって統一的に説明できる

と考えられるが、実用上必要なのはFig. 4で示される吸着効率であり、それはそれぞれの実験条件によって大きく違っている。この理由が活性炭の量とそれを包む空間の大きさに依存していることは(5)式で明らかである。なお、濃度の異なる試料空気を用いた同様の実験からも、常に同じ吸着温度特性が得られており、以上これらの結果は、Rn吸着が温度の関数である分配係数に依存するという考え方⁽¹⁸⁾に沿うものである。

Rnの活性炭への吸着過程の詳細な検討をするのが本報の目的ではない。ここでは、使用条件における吸着温度特性を知っておく必要のあることを述べるに留める。

2. 総捕集効率

試料捕集中にRnがCPから抜けていく量と、一度吸着されたRnが離脱していく量は、ともに吸着量に対して微量であることがTable 2, 3で明らかである。それにもかかわらず、装置全体の総捕集効率が $88 \pm 5\%$ と悪いことについて次の諸点が指摘される。

- (1) CPから追い出されたRnが完全に電離箱に入りきらなくて、途中の配管部にいくらか分配されて残ることである。電離箱と配管の容積比でこの量を見積ると約5%となる。
- (2) 配管系に高分子系のパイプを使用しているため、それへのRnの吸着である。今のところこの量を見積ることはできない。
- (3) 系外への漏洩であるが、これについては系全体の気密性を確認してあるので無視してよい。

以上の諸点のみで総捕集効率を説明しようとは考え難いが、これら以外の原因も見出しにくい。

3. 検出限界

本装置の最小検出限界は電離箱の電流検出限界で決定される。電離箱が十分に洗浄され、バックグラウンド電流値がどの程度安定に記録されるかによってかなりの違いがあるが、ここでは5 fAは有意に識別できると仮定する。試料採取量を5 l/minで60 min捕集とすると、総量で0.3 m³である。したがって、(3)式より 10.4 pCi/m^3 が最小検出濃度となる。通常の屋内外の大気中のRn濃度は $10 \sim 1,000 \text{ pCi/m}^3$ の範囲にあるが、 10 pCi/m^3 程度の値を示すことは極めてまれである。しかし、数 10 pCi/m^3 程度となることはしばしばあるので、5 l/minで60 min捕集という条件は守るべきである。本装置でより低い濃度のRnを検出するためには、捕集時間を十分長くするか、流量を上げることなどで対処できるため、条件を変えることによってもう1桁検出限界を下に見積ることは可能である。

V. 結 論

大気中の Rn 濃度を測定するため、古くから用いられている活性炭について、実用的な見地から諸条件、特性を調べた。その結果、活性炭量は 5 g (T社 2GS)、流量は 5 l/min、捕集時間は 60 min、冷却系にはドライアイス-アルコールの組合せでよいことが判明した。また、捕集・測定系の気密性に十分注意しても、電離箱以外の配管系へ Rn が残留するなどの可能性のために、本装置の総捕集効率 ± 0.05 となった。また、50~1,000 pCi/m³ の範囲で期待値と測定値の間に良好な 1 対 1 の対応関係があった。検出下限は上記の条件で約 10 pCi/m³、条件を変えればさらに下がることわかった。

本研究により、従来から慣例的に用いられてきた活性炭法は自然大気中の Rn の測定に十分有用であることが確認できた。ただし、実際上必要となる吸着効率は条件によって見掛け上異なるので、各実験条件に即

して調べておくべきである。

—参考文献—

- (1) RUTHERFORD, E.: *Chem. News*, **99**, 76 (1909).
- (2) MIRANDA, H.A. Jr.: *J. Atmos. Terr. Phys.*, **11**, 272 (1957).
- (3) SHLEIEN, B.: *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **24**, 180 (1963).
- (4) KAWANO, M., NAKATANI, S.: "Natural Radiation Environment", 291 (1964), Univ. Chicago Press.
- (5) KAWANO, M., et al.: *Mem. Fac. Eng., Nagoya Univ.*, **17**, 125 (1965).
- (6) SATTERLEY, J.: *Phil. Mag.*, **20**, 778 (1910).
- (7) BECKER, A., STEHBERGER, K.H.: *Ann. Phys.*, **5**, 529 (1929).
- (8) MEGUMI, K., MAMURO, T.: *J. Geophys. Res.*, **77**, 3052 (1972).
- (9) 下 道国, 池辺幸正, 川野 実: 原子力誌, **14**(8), 415 (1972).
- (10) 館野 徹, 池辺幸正, 下 道国: 同上, **16**(12), 626 (1974).
- (11) 柳井 弘: "活性炭読本", (1977), 日刊工業新聞社.
- (12) HASSLER, J.W.: "活性炭", (織田孝訳), (1963) 共立出版.
- (13) 黒沢竜平: 原子力学会昭56年会要旨集Ⅱ, G7, (1981).

好評発売中

高耐火性酸化物セラミックス

ポルバリノフ他著 モスクワ化学工業大学で多数の専門家が独自の研究開発結果をまとめ、約500件におよぶ最近の内外研究論文を整理引用して編纂した本分野初の本格的モノグラフ。

①酸化物セラミックスの製造技術の基礎とその一般的性質 ②単一酸化物を基とする焼結セラミックス ③若干の酸化物二元化合物を基とする焼結セラミックス ④粒状構造の酸化物耐火物 ⑤酸化物多孔質セラミックス ⑥酸化物の糸状結晶と多結晶繊維。

■B5判、約300頁/定価18,000円

データ高融点化合物便覧

サムソノフ他著 酸化物以外の最も普遍的かつ有望な高融点化合物(ほう化物、炭化物、窒化物、けい化物、りん化合物、硫化物、アルミニウム化合物、ベリリウム化合物)の結晶化学的、熱的、熱力学的、電気的、磁気的、光学的、機械的、化学的性質および耐火性に関するデータの総まとめ。

■B5判、554頁/定価16,000円

原子炉材料の腐食

ゲラーシモフ著 原子力発電所の安全操業課題の解決には原発設備の金属の効果的な防食システムの確立が必要であり、そのためには金属と水冷却材の相互作用下で起るプロセスの物理法則や腐食におよぼす照射の影響などを知らねばならない。

本書はこの問題の根本的解決を目指した貴重な最新研究データの総括である。

■B5判、256頁/定価26,000円

データ無機化合物の分子定数

クラスノフ他著 3500以上の無機化合物の分子定数—分子の核間隔、標準振動周波数、生成熱、解離エネルギーを数表にまとめ、それらの適用条件と引用文献の一覧表を付した気体の熱力学的および熱物理的性質と化学平衡の計算のための最新データ集。

■B5判、約450頁/定価13,000円

無機ふっ化物の主要性質便覧	定価18,000円(送300円)
超高融点材料便覧	定価17,500円(送300円)
超高融点金属の高温腐食と防食	定価19,000円(送300円)
超伝導材料(新材料探究と技術開発)	定価19,000円(送料共)
半導体系の固溶体	定価19,000円(送料共)
ステンレス鋼の腐食(米原書)	定価15,800円(送料共)
元素の物理的性質	定価14,000円(送300円)
最新酸化物便覧	定価12,000円(送300円)
酸化物の熱物理的性質	定価9,500円(送200円)
金属の合金と高温酸化	定価15,000円(送300円)
金属酸化物の還元過程の熱力学	定価12,000円(送300円)
気体と液体の熱物理的性質	定価17,000円(送300円)
低温度における材料の熱物理的性質	定価12,000円(送200円)
硫化物便覧(物性と状態図)	定価12,000円(送300円)
複合材料の構造と性質	定価15,000円(送300円)
プラズマ溶射法	定価14,000円(送300円)
高融点被覆	定価16,000円(送300円)
耐熱無機被覆の化学と処理技術	定価15,000円(送200円)
腐食抑制剤	定価18,000円(送300円)