

ヨウ素の不活性ガス中
拡散係数測定試験（Ⅲ）

（動力炉・核燃料開発事業団 委託研究報告書）

1997年10月

茨城大学工学部

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

システム開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-Ken 311-13, Japan.

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1997

公開資料

PNC JT9613 97-002

1997年10月

ヨウ素の不活性ガス中拡散係数測定試験（Ⅲ）

佐川憲彦*

要　旨

希ガス中におけるヨウ化セシウム蒸気の拡散係数を、Stefan法を改良した方法を用いて測定した。

拡散カラム底部でヨウ化セシウム結晶を溶融し、拡散カラム中の希ガスをヨウ化セシウム蒸気で飽和にし、拡散カラム頂部のバルブを開いて、拡散して来る蒸気を搬送ガスによってイオン化センサーに導いた。ヨウ化セシウム濃度をイオン化センサーで連続測定し、その出力電流の過渡応答を解析することにより、拡散係数を測定した。アルゴンガス、クリプトンガスおよびキセノンガス中において631～691℃の温度範囲で求めたヨウ化セシウム蒸気の拡散係数には、温度上昇とともに増加する傾向が認められるが、それぞれのガス中の拡散係数には有意な差は認められなかった。

本報告書は、佐川憲彦が動力炉、核燃料開発事業団の委託
(平成5年)により実施した研究内容結果である。

契約番号：050D0131

事業団担当部課室および担当者：大洗工学センター安全工学部
　　プラント安全工学室
　　原 広

*：茨城大学工学部機械工学科

FOR PUBLICATION

PNC TJ9613 97-002

OCTOBER, 1997

A Study of Iodine Diffusion in Rare Gases (II)

Norihiro Sagawa *

Abstract

The diffusion coefficient of cesium iodide vapor in rare gases was determined by a modified Stefan's method. The rare gas in a diffusion column was saturated with vapor of the cesium iodide, crystals of which were heated to melt at the bottom of the column. By opening a valve united at a top of the column, the vapor diffusing through the column was transferred with the carrier rare gas to an ionization sensor. The concentration of cesium iodide in the carrier gas was continuously monitored with the sensor. The diffusion coefficient was determined by analyzing the transient response of the concentration. Increasing tendency with temperature is observed in the coefficients obtained in argon, krypton and xenon at temperatures between 631 and 691 °C and no significant difference among the coefficients in argon, krypton and xenon.

Work performed by Norihiko Sagawa * in 1993 under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Plant Safety Section, Safety Engineering Division, O-arai
Engineering Center, Hiroshi Hara

* : Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki
University

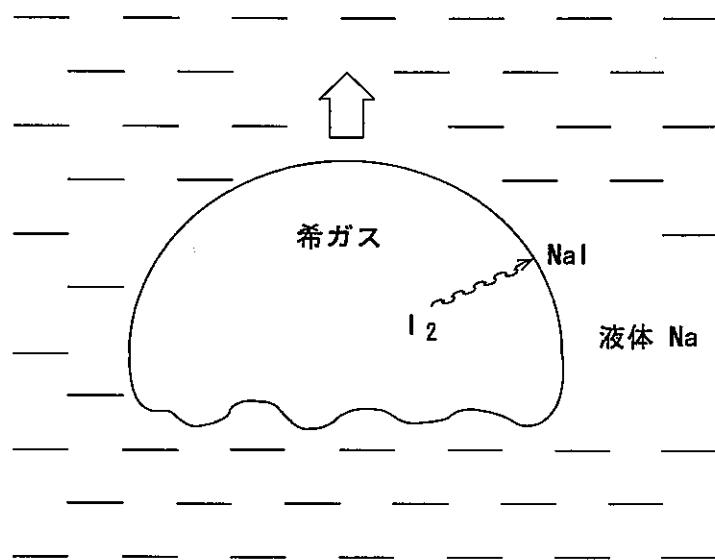
目 次

1 . 緒 言 -----	(1)
2 . 拡 散 係 数 の 测 定 法	
2.1 凝 縮 法 -----	(4)
2.2 Stefan 法 -----	(4)
3 . 改 良 し た 测 定 法	
3.1 改 良 し た 测 定 法 の 原 理 -----	(7)
3.2 拡 散 方 程 式 の 解 -----	(10)
3.3 拡 散 係 数 の 求 法 -----	(13)
4 . 测 定 装 置 の 説 明	
4.1 拡 散 カ ラ ム -----	(15)
4.2 拡 散 カ ラ ム 加 热 炉 -----	(17)
4.3 イ オ ン 化 セン サ ー -----	(20)
4.4 希 ガ ス 純 化 装 置 -----	(27)
4.5 エ ア ロ ゾ ル 捕 集 器 -----	(29)
5 . 実 験 方 法	
5.1 実 験 経 過 -----	(32)
5.2 実 験 手 順 -----	(34)
6 . 测 定 結 果	
6.1 测 定 条 件 -----	(36)
6.2 测 定 結 果 -----	(37)
7 . 結 果 の 檢 計	
7.1 拡 散 係 数 の 推 算 -----	(42)
7.2 测 定 値 と 推 算 値 の 比 較 -----	(47)
8 . 結 言 -----	(54)
9 . 参 考 文 献 -----	(56)
謝 辞 -----	(57)
付 錄 1 デ ー タ 収 録 用 プ ロ グ ラ ム -----	(58)
付 錄 2 拡 散 係 数 算 定 の 計 算 プ ロ グ ラ ム -----	(60)
付 表 1 Ar ガ ス 中 拡 散 係 数 の 测 定 条 件 と 結 果	(67)
付 表 2 Kr ガ ス 中 拡 散 係 数 の 测 定 条 件 と 結 果	(77)
付 表 3 Xe ガ ス 中 拡 散 係 数 の 测 定 条 件 と 結 果	(90)

1. 緒 言

高速炉において燃料棒の被覆管に割れなどが発生したと想定すると、図1に示すように、被覆管内に蓄積していた核分裂生成物のうち、核分裂収率（生成割合）が大きい希ガス、セシウム、ヨウ素等が、冷却体であるナトリウム中に放出される可能性がある。このような場合、希ガスは気泡となってナトリウム中を上昇し、自由液面に達してカバーガスであるアルゴンガスに混入する。セシウムは同じアルカリ金属のナトリウムに溶解し易く、ナトリウム中に一旦保持されるが、ナトリウムより揮発性が大であるので、その分だけカバーガス中に蒸発移行する割合が多い[1-3]。ヨウ素が単独でナトリウム中に放出された場合は、ナトリウムと反応してヨウ化ナトリウムになるが、希ガスと共に放出された場合には、希ガス中を拡散してからナトリウムと接触し反応する。ヨウ素は一部分燃料棒の中でセシウムと化合し、ヨウ化セシウムの形でナトリウム中に放出される可能性もある。

ヨウ素及びセシウムはナトリウムに保持されれば、カバーガス中に移行する割合は僅少であるが[4]、保持され難いとするとカバーガス中に移行し、その外の雰囲気中に漏洩する可能性が増加することになる。したがって、希ガスの泡がナトリウム中を上昇する間の、ヨウ化セシウムの挙動を正確に評価することは、ヨウ素及びセシウムのその後の挙動を追跡する上で重要である。アルゴン中の気体の拡散係数については、いくつか測定例が報告されており[5-7]、これらからヨウ素及びセシウムの拡散係数を推算することは一応可能である。しかしながら、クリプトンやキセノン中の拡散係数については測定例を見いだす事は出来ず、信頼性のある実測データを求めることが必要である。



◎高速炉の燃料棒が破損したと想定

→ 核分裂生成物（希ガス、ヨウ素、セシウム）

→ ナトリウム中に放出

※希ガス : 気泡となり、ナトリウム中を上昇

※ヨウ素 : 希ガス中を乱流拡散、層流拡散

→ ナトリウムと接触し、化合

◎希ガス泡が上昇中に

ヨウ素がナトリウム中に保持される割合

→ ヨウ素の挙動を追跡する上で重要

図1 研究の背景

以上の観点から本研究では、アルゴン中におけるヨウ化セシウム蒸気の拡散係数を、従来の Stefan 法を改良した新しい方法（過渡状態から定常状態における拡散物質の濃度変化を、イオン化センサーを用いて連続測定し、その過渡応答を解析することにより、拡散係数を求める）を用いて測定し、拡散係数の推算式から求めた値と比較して、その信頼性を検討することを目的とする。

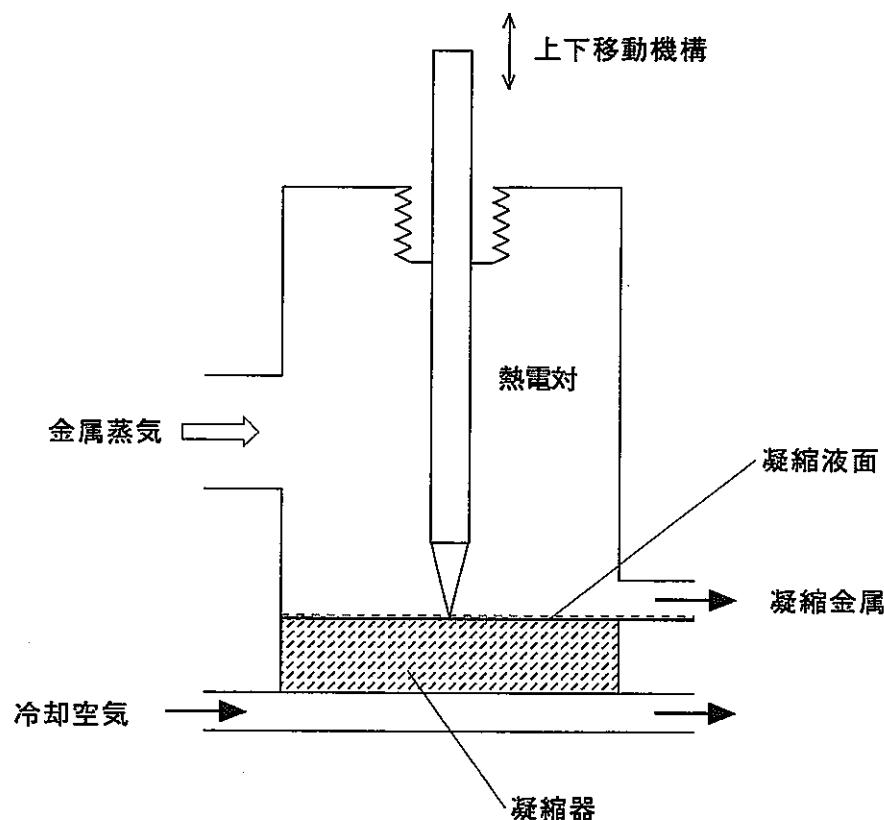
2. 拡散係数の測定法

2.1 凝縮法

Ivanovskii等[8]は凝縮過程を利用して、不活性ガス中におけるアルカリ金属の拡散係数を測定した。この凝縮法は、不活性ガス中ににおいてアルカリ金属蒸気の凝縮面近傍の蒸気濃度分布と凝縮量を測定し、拡散係数を求めるもので、図2にその原理図を示す。蒸気濃度は直接測定することが出来ないので、凝縮面近傍の温度分布を測定し、これに対応する飽和蒸気濃度 C_s を採用している。この方法では、凝縮量の測定精度を高めることは出来るが、拡散係数の精度は温度分布の測定誤差、と飽和蒸気圧に含まれる不確かさに依存する。凝縮面近傍において、位置と温度を詳細に測定することは、装置が複雑になり測定量が増加することにつながる。

2.2 Stefan法

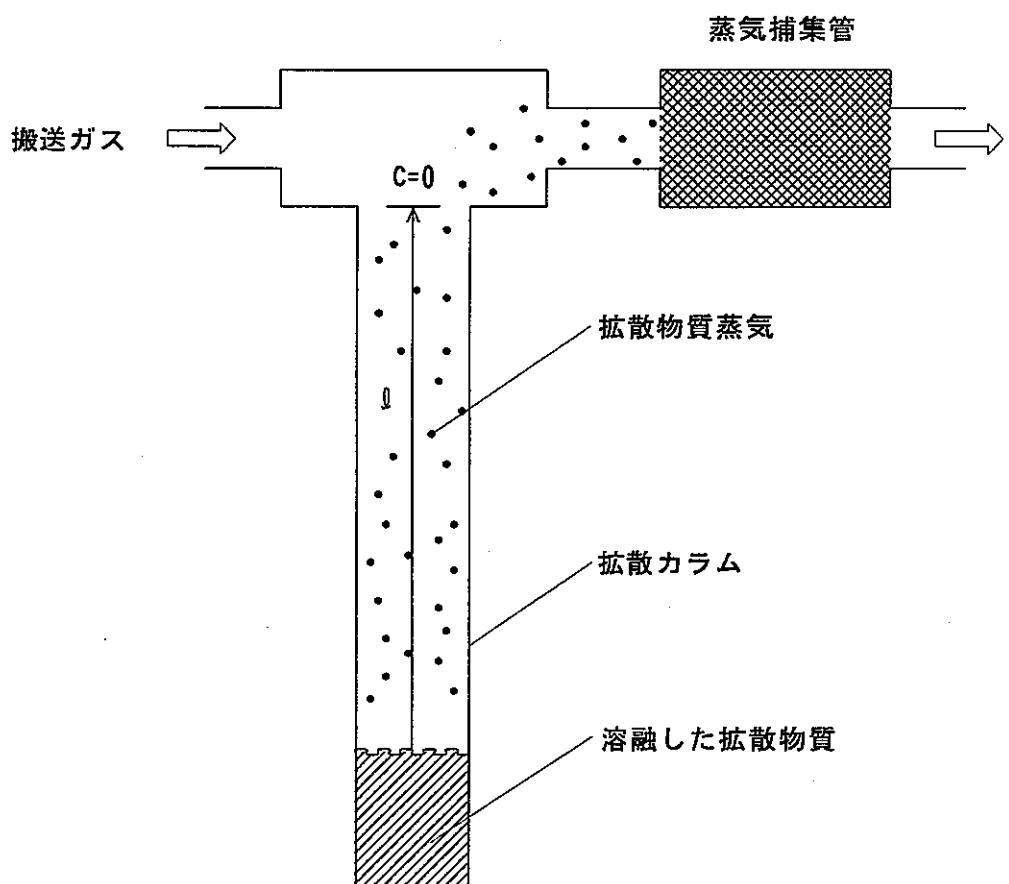
Khomchekov等[9]はより簡便なStefan法を用いて、不活性ガス中におけるカリウムやセシウムの拡散係数を測定した。このStefan法は、拡散カラムの底部で拡散物質を溶融し、拡散カラムの頂部から搬送ガスによって拡散物質を捕集器に集めるもので、図3にその原理図を示す。Stefan法においても濃度を直接測定せず、溶融している物質の表面では飽和濃度 C_s になっていること、拡散カラムの頂部では、濃度が零になることを前提にする。従って、測定時間 t の間の捕集量 Q と拡散カラムの実効長 l と断面積 A を測定することにより、拡散係数 D を求めることが出来る。この測定法は定常状態のもとで、拡散カラムの頂部から運ばれる物質を捕集器に集めるため、測定時間が長くなる。また、拡散物質の蒸気圧と温度の関数形が求まっていないと、飽和濃度 C_s の評価が困難になり、捕集器のフィルターが拡散物質を100%捕集しないと、拡散量 Q の評価に誤差が入るなどの問題点がある。



問題点 ① $C_s(T)$ の関数形が不確か

② 温度分布の測定が困難

図 2 凝縮法の原理図



- 問題点 ① $C_s(T)$ の関数形が不確か
 ② フィルター効率が 100% 未満

図 3 Stefan 法の原理図

3. 改良した測定法

3.1 改良した測定法の原理

凝縮法及びStefan法を検討すると、拡散係数の測定精度を上げるには、

①測定装置を単純にして測定条件を保持し易くすること、
②センサーを開発して拡散物質をオンライン計測すること、
がポイントであるのがわかる。そこで、Stefan法を改良してこれらの問題の解決を計る。即ち、拡散カラム内を予め飽和濃度においておいて、拡散カラムの頂部（出口）を開いて測定を開始し、過渡状態から定常状態に至るまでの経過時間中、拡散物質の濃度をオンライン計測する方法を採用する。この方法では、測定量として濃度の時間的変化を追えればよく、測定時間もStefan法より短くてよい。

以上の考え方を具体化すると、測定装置は図4、希ガス循環装置は図5に示すような基本構成になる。

- ①拡散カラムの底部に溶融ポットを接続し、拡散物質を溶融してその一部を蒸発させる。
- ②拡散カラムの頂部にはベローズバルブの弁座を接続し、バルブを閉じて、拡散カラムの中にヨウ化セシウム蒸気と希ガスを閉じこめる。
- ③ベローズバルブを開いて、カラム中を拡散してくる物質をイオン化センサーに搬送し、濃度の時間的変化を追う。
- ④拡散物質を搬送ガスによって捕集器に運び、その中のステンレス焼結フィルターに捕集する。
- ⑤搬送ガスを装置の中を循環させるようとする。捕集器を出た搬送ガスは、循環プロワで送り出され、ガス流量計を通って水分捕集器、不純物捕集器、酸素捕集器で精製されて拡散カラム上部に戻る。

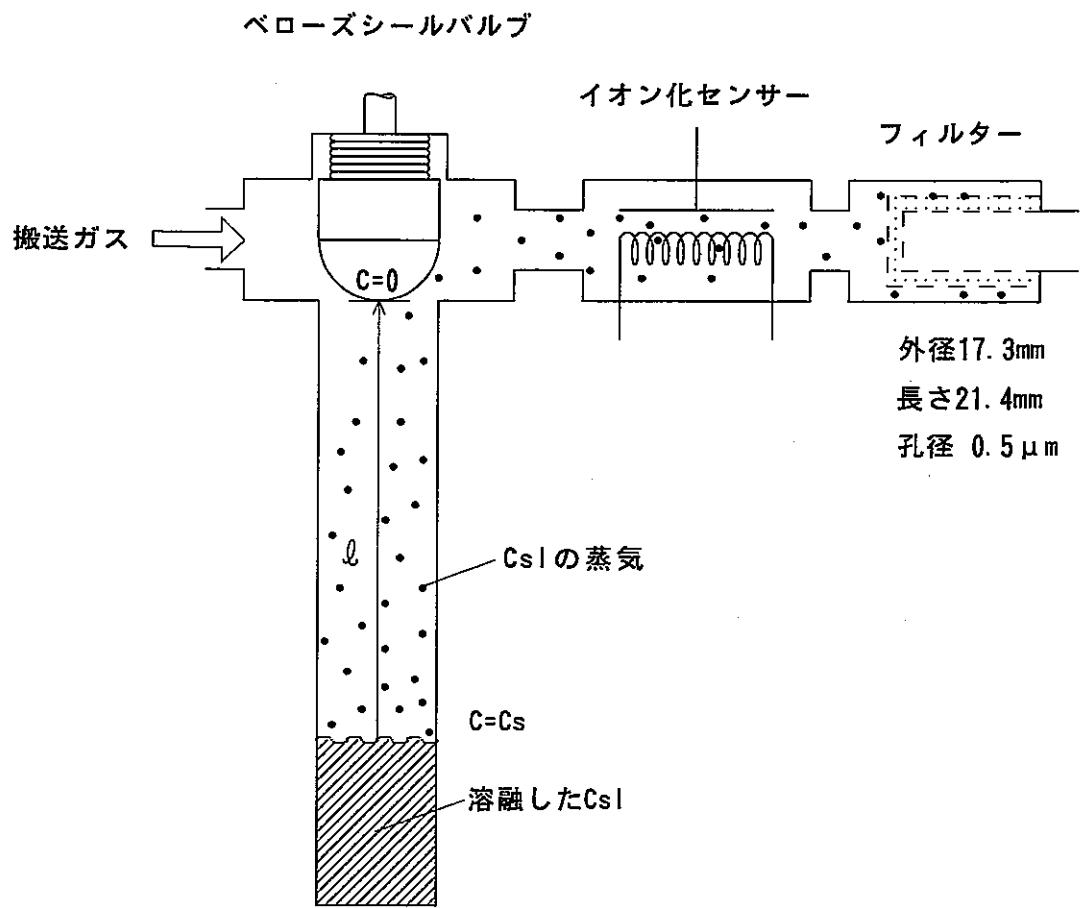


図4 拡散係数測定装置の基本構成

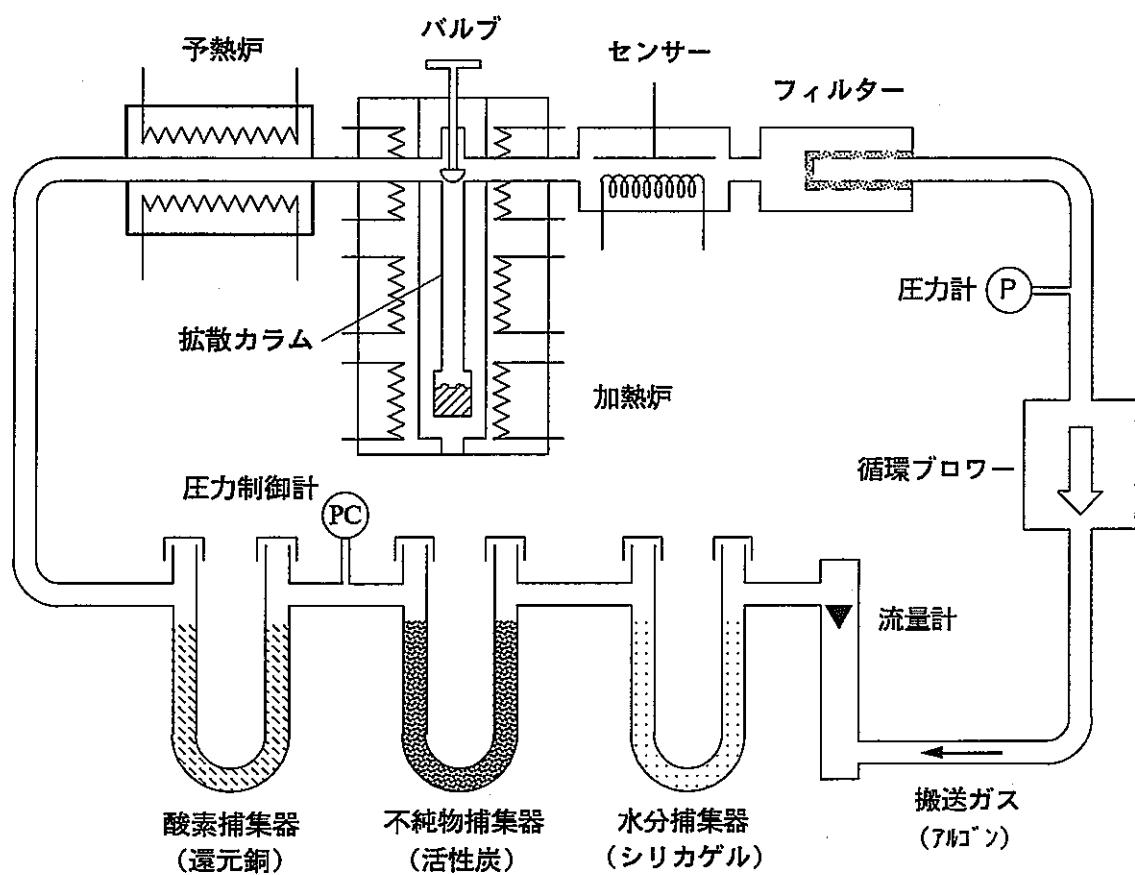


図 5 搬送ガスの循環回路

3.2 拡散方程式の解

拡散カラムに一次元の拡散方程式を適用すると

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots \quad (1)$$

ここで、 D = 拡散係数 [cm²/s]

C = 拡散物質の濃度 [mol/cm³]

(アルゴン中のヨウ化セシウム濃度)

である。

初期条件及び境界条件はそれぞれ

$t = 0$ (測定開始) で

$C = C_s$ (飽和濃度)

$x = 0$ (液面) で

$C = C_s$ (飽和濃度)

$x = \downarrow$ (頂部) で

$$C = 0$$

のようになる。(1)式の解は

$$C = C_s \left[\left(1 - \frac{x}{\ell} \right) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \exp \left(- \frac{D n^2 \pi^2 t}{\ell^2} \right) \sin \left(\frac{n \pi x}{\ell} \right) \right]$$

----- (2)

となる。拡散カラムの断面積を A [cm^2] として、頂部端面 ($x = l$) を測定開始から時刻 t までの間に通過する拡散物質の量 Q を求めると、

$$Q = A C_s D \int_0^t \left[\frac{\partial C}{\partial x} \right]_{x=1} dt$$

$$= \frac{A C_s D}{\ell} \left[t + \frac{\ell^2}{3D} - \frac{2\ell^2}{D\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D n^2 \pi^2 t}{\ell}\right) \right]$$

----- (3)

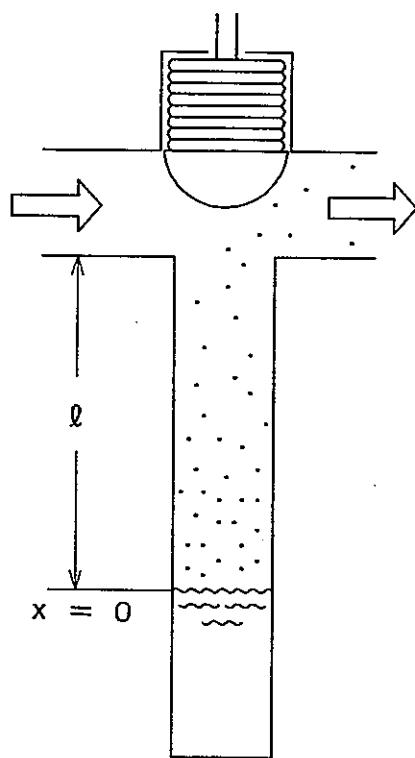
を得る。(3)式より Q は零から出発するが第3項以降は時間と共に減衰するので、定常状態に近づくと

$$\frac{Q}{A C_s} = \frac{D}{\ell} \left(t + \frac{\ell^2}{3D} \right)$$

----- (4)

なる直線に漸近することがわかる。

拡散方程式



方程式の解

$$\frac{C}{C_s} = \left(1 - \frac{x}{l}\right) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \exp\left(-\frac{D n^2 \pi^2 t}{l^2}\right) \times \sin\left(\frac{n \pi x}{l}\right)$$

カラム頂部からの移動量

$$Q = A C_s D \int_0^t \left[-\frac{\partial C}{\partial x} \right]_{x=l} dt$$

$$= \frac{A C_s D}{l} \left[t + \frac{l^2}{3D} - \frac{2l^2}{D\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D n^2 \pi^2 t}{l^2}\right) \right]$$

図 6 拡散モデルの説明

3.3 拡散係数の求法

拡散カラムの頂部端面を通過する拡散物質の量を、拡散カラムの断面積と飽和濃度とで規格化し、時間の関数で表すと図7の曲線のようになる。この規格化した($Q / A C_s$)の漸近線が(4)式の直線である。従って、測定結果から拡散係数を求める場合には、時間を追って($Q / A C_s$)をプロットして行き、($Q / A C_s$)が直線的変化を示すようになったらこれの接線を引き、時間軸を切る点 t_0 から

$$D = -\frac{\ell^2}{3 t_0} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

の関係を用いて拡散係数を計算すればよい。(7) この t_0 の位置は $(Q / A C_s)$ に依らず独立に決まる。

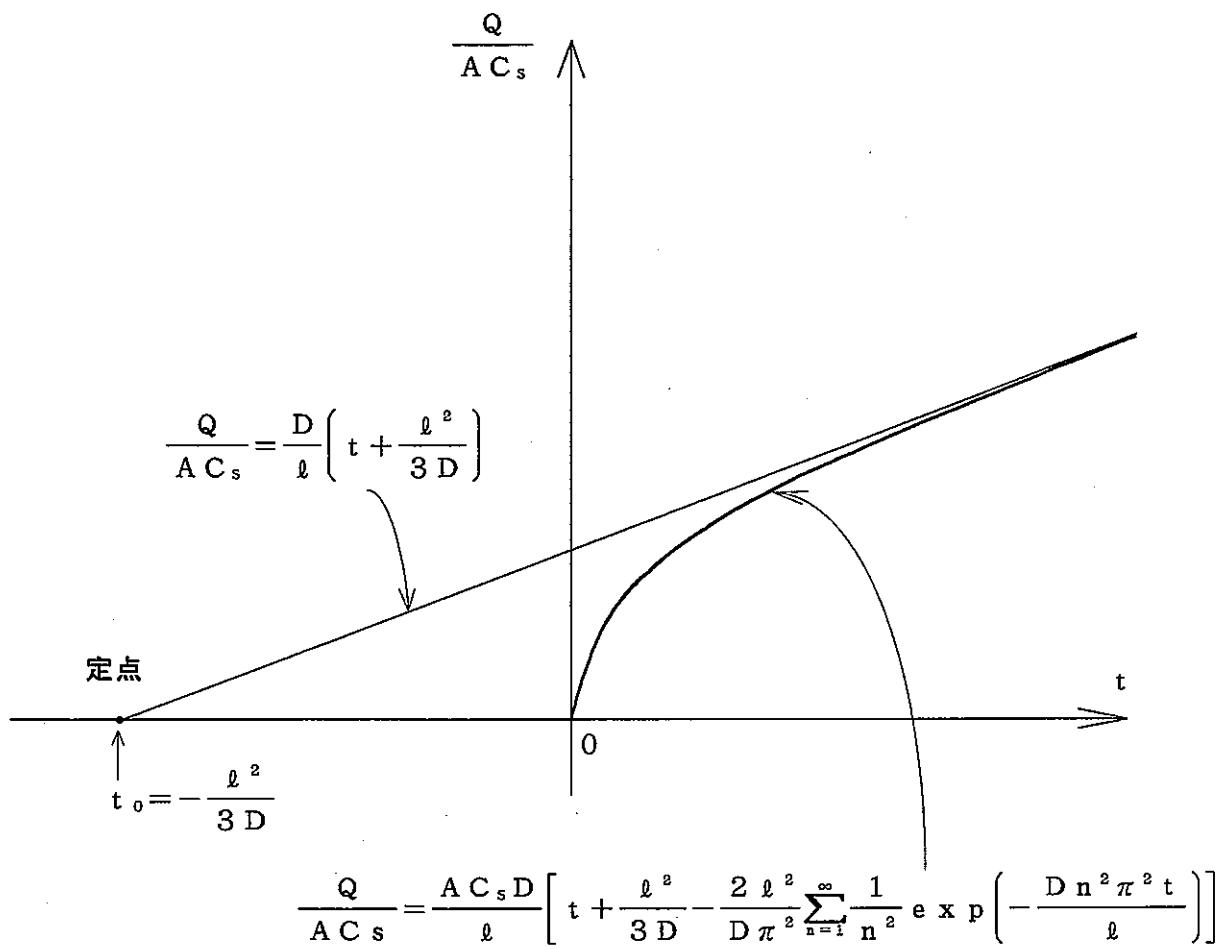


図 7 拡散係数の求法

4. 測定装置の説明

4.1 拡散カラム

拡散カラムの構成を図8に示す。拡散カラムの本体は3/4"のSUS316ステンレス鋼製継手用精密管（外径19.05mm、肉厚1.65mm）で、この頂部に口径3/4"のベローズバルブを溶接し、底部に溶融ポットを溶接したものである。ベローズバルブはアングル・溶接タイプのものを、出口ノズルと正反対方向から穿孔し、ノズルピースを介して継ぎ管を溶接するように改造してある。改造によってステライト肉盛の弁体は拡散カラムの頂部を開閉するだけになり、搬送ガスは常時入口ノズルから流入し、出口ノズルから流出するようになる。

溶融ポットはヨウ化セシウムによる腐食で減肉に耐え得るように、SUS304ステンレス鋼丸棒（直径40mm）に直径15.7mmの穴を穿ったものである。

溶融ポットからカラム頂部までのチューブおよびユニオン継手部は、均一に輻射加熱されるように、2つ割のステンレス鋼製ホルダーで覆い外径を同一にそろえてある。

拡散カラムの軸方向の温度分布を求めるため、素線径0.2mm、ステンレス鋼シース径1.0mmの熱電対を溶融ポット（①, ②）、チューブ（③, ④, ⑤, ⑥）、ベローズバルブ（⑦, ⑧）に貼りつけてある。また、搬送アルゴンの温度を監視するため、ベローズバルブの流入ノズル（⑩, ⑪）と、流出ノズル（⑨, ⑫）にそれぞれ上記の熱電対を貼りつけてある。

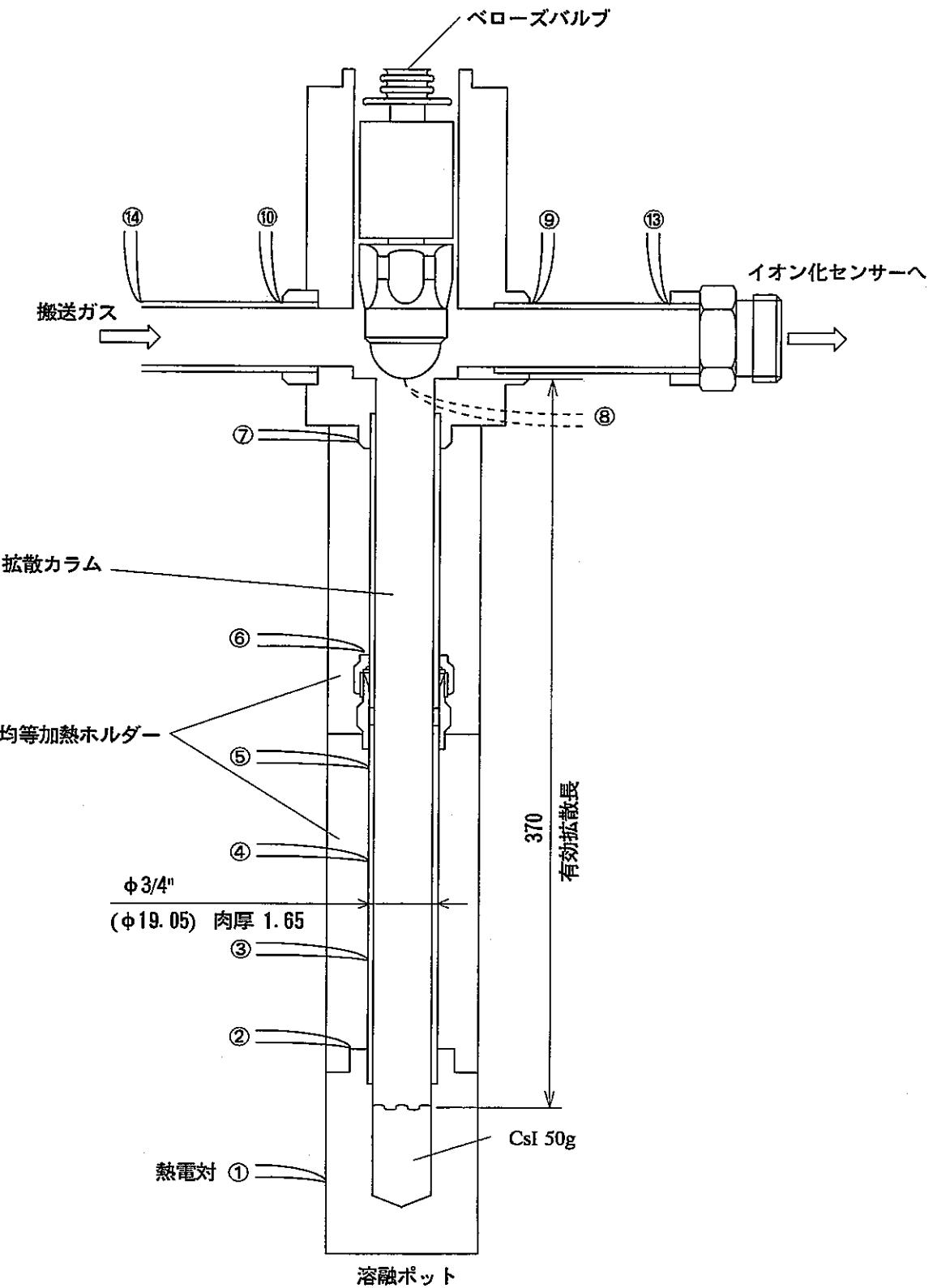


図 8 拡散カラムの構成

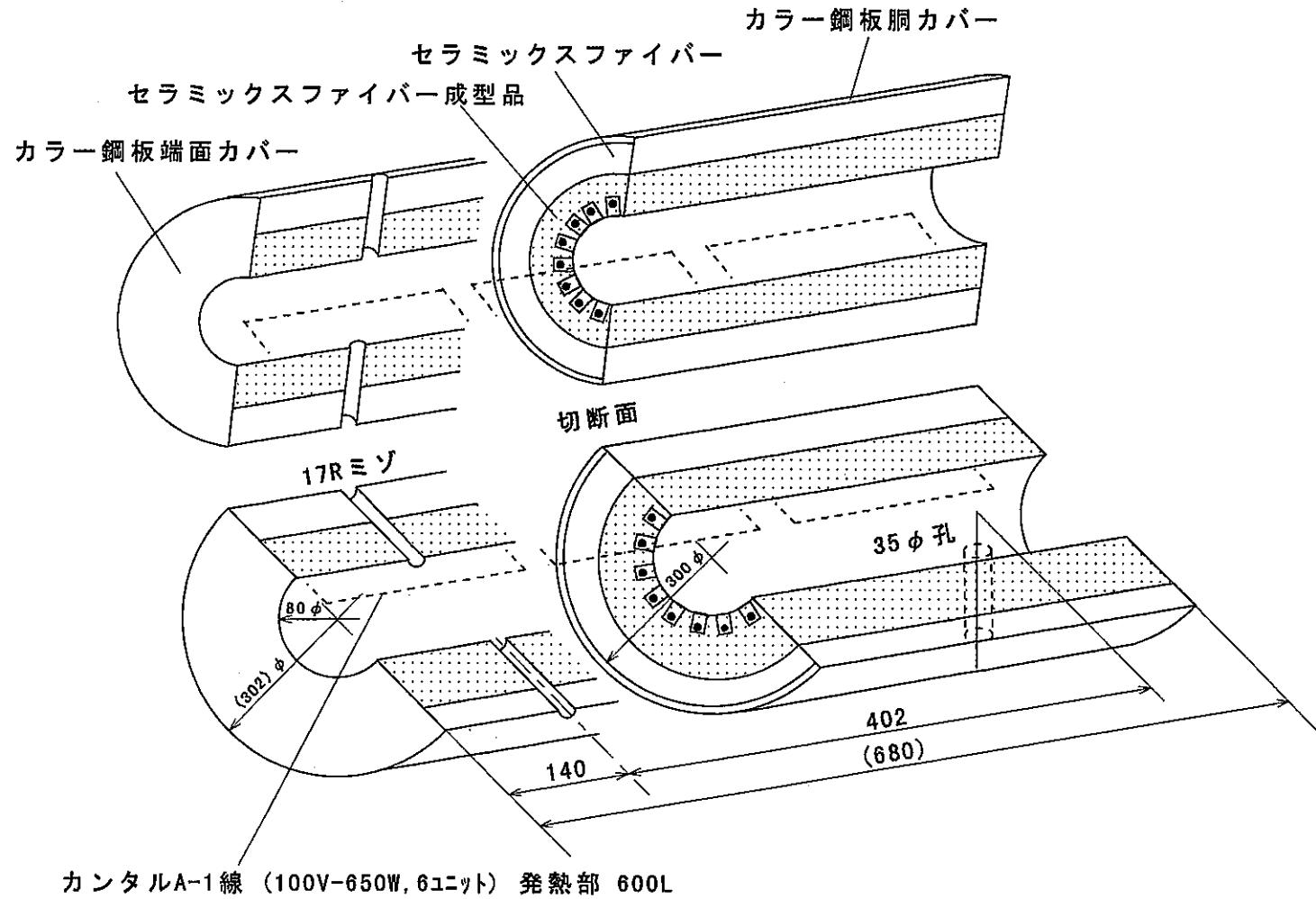
4.2 拡散カラム加熱炉

ヨウ化セシウムは融点が高温(621°C)であるため、ステンレス鋼被覆ヒーターを巻きつけて加熱するには、ヒータの耐熱性に余裕がない。そこで図9に示すように、輻射加熱の開閉式管状炉で拡散カラムとベローズバルブを加熱する。この管状炉は外径が300φ、内径が100φであり、有効発熱部長さが600 mm、総長が680 mmである。またこの管状炉は左右に分割が可能で、100 V- 650 W のヒーターユニットを計6個有している。

拡散カラム中に閉じ込められたヨウ化セシウム蒸気が、希ガス中を拡散移行し、カラム頂部から搬送ガスに伴われ移送される際に、カラムの中で自然対流が起こっては拡散係数が正確に求められない。そこで拡散カラム上部、中央部、下部をそれぞれ3個のヒータユニットで独立に加熱し、温度を制御するようとする。加熱温度は1000°C(使用温度)を目標にしているので、発熱体にはカンタルA-1合金線を用いている。加熱炉は縦置きの他横置きも可能である。

写真1に加熱炉に拡散カラムを装着したところを示す。

図9 拡散カラム加熱炉



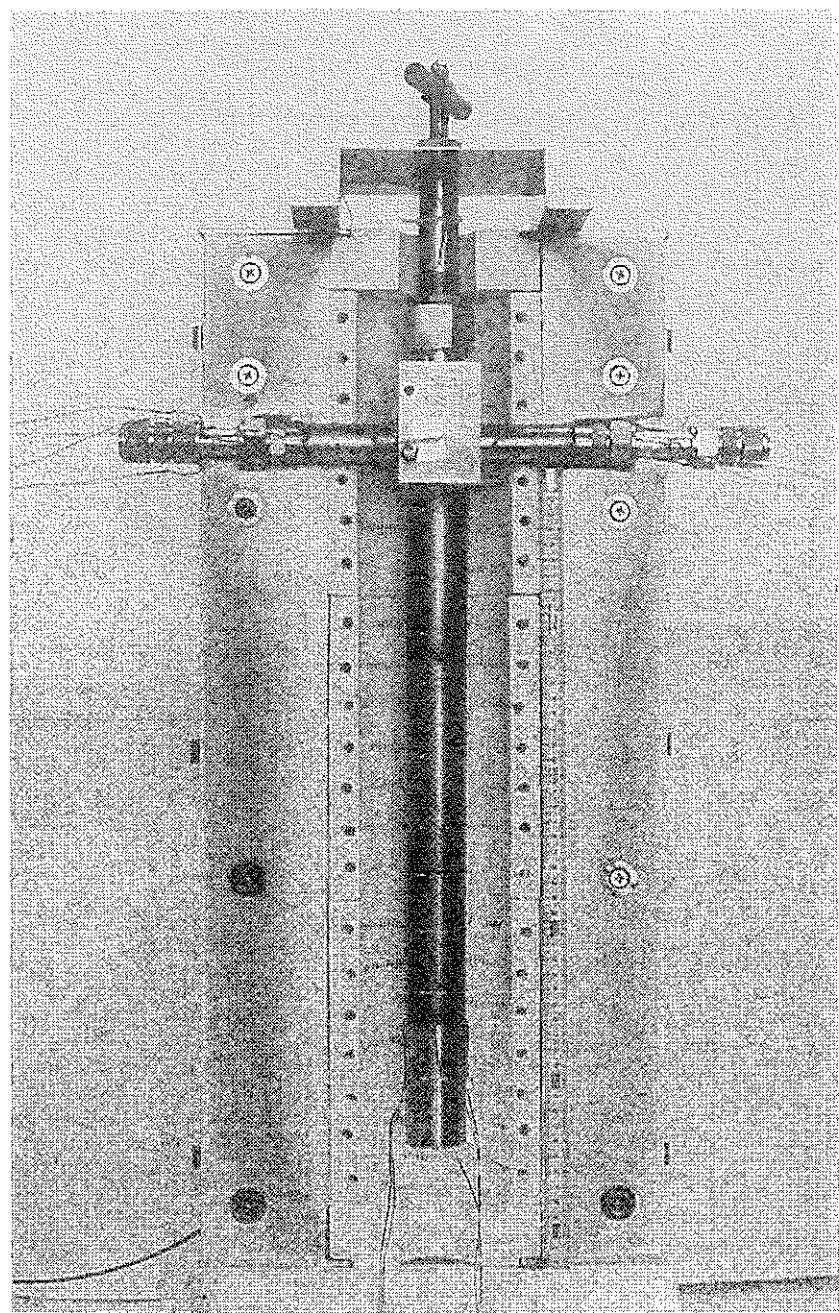


写真1 加熱炉に装着した拡散カラム

4.3 イオン化センサー

(a) イオン化センサーの作動原理

イオン化センサーの基本的な原理は、図10に示すように、フィラメントとコレクター（プレート）から成る二極管において、希ガス中のヨウ化セシウムを高温に加熱したフィラメントの表面で一部解離させ、発生するイオン電流の大きさから、ヨウ化セシウム蒸気濃度を検出するものである[10]。フィラメントに衝突したヨウ化セシウム原子のうち、一部はフィラメントに物理吸着して解離化エネルギーを得る。フィラメントの表面でイオンとなったヨウ化セシウムはその高温度によって脱離し、外側の電場によってコレクターに捕集される。このイオン電流はフィラメント近傍のヨウ化セシウム蒸気濃度に比例する。フィラメントは2～5 A程度の直流によって加熱し、フィラメントとコレクターとの間には400 Vの直電圧を印加する。この両者の間を流れるイオン電流は直流微少電流計などを用いて測定する。

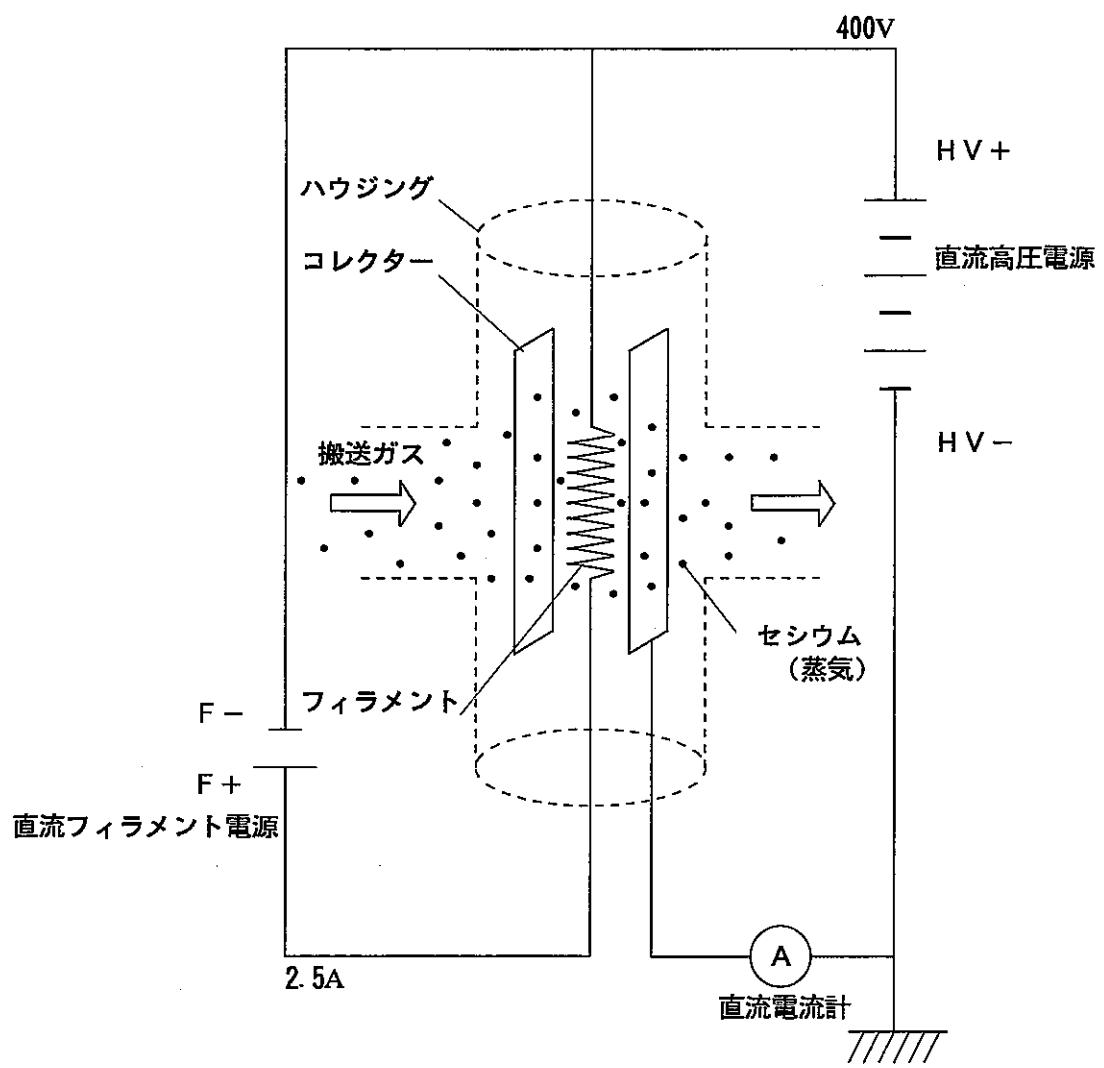


図 10 イオン化センサーの作動原理

(b) ヨウ化セシウム用イオン化センサー

イオン化センサーの構造は図11に示すように、センサーの主導管をパイレックスガラス製にし、直径0.8 mmのコバール線電極にフィラメントおよびコレクターを取り付け、電極を中間ガラスを介してガラス管外へ引き出す構造となっている。

フィラメントには酸化し難い白金を用い、直径0.3 mmの素線を内線0.8 mmのコイル状に巻いたもの（発熱長さ15 mm）を用いる。

コレクターには白金の薄板を用い、フィラメントとの接触を避けるため下に開口の鞍型にする。パイレックス管は中間ガラスを介してコバール管を継ぎ、拡散カラム出口導管と接続（スウェージロック）する。パイレックスガラス管の出口端はテーパをつけ、ヨウ化セシウム捕集器の入口とスリ合わせる。

イオン化センサーは搬送ガスの温度が400°C以下ならば使用に耐える。ただし、上記のヨウ化物は400°C以下では蒸気圧が低下し、拡散カラム頂部からイオン化センサーまで搬送される間に、蒸気からミストに変化する可能性が大である。ミストが搬送ガスに含まれると、ミストがフィラメントに衝突して気化して電離するために、イオン電流のゆらぎが大きくなることが知られている[10]。このゆらぎが大きくなってもマクロな変化をとらえることができるから、ヨウ化物濃度変化を観測する上で大きな障害にならない。

写真2にイオン化センサーを測定装置に組込んだところを示す。

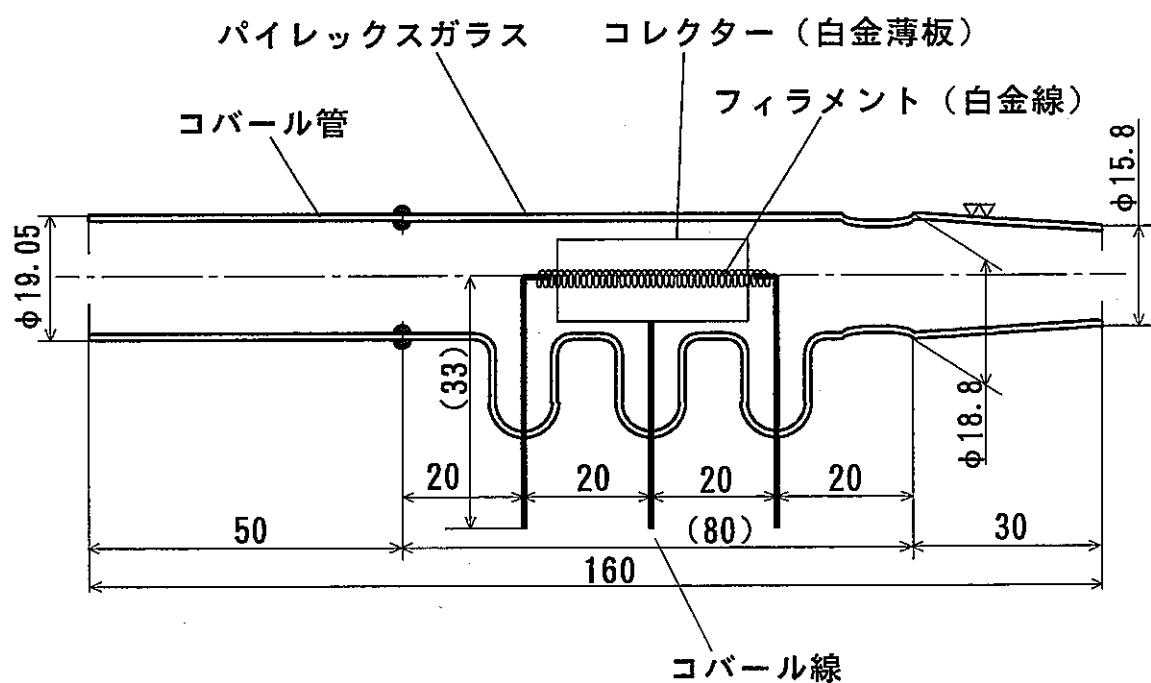


図 11 イオン化センサーの構造

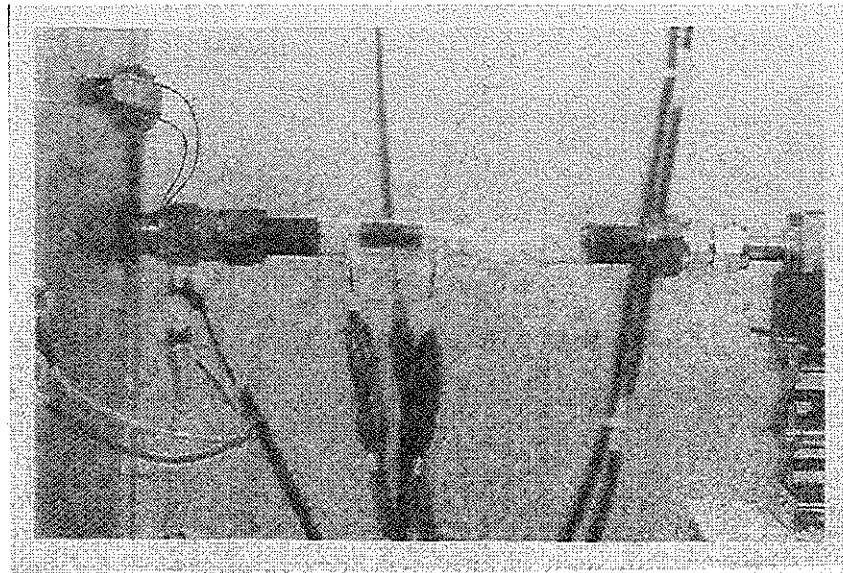


写真2 イオン化センサーの組込み

(c) イオン化センサー用電源及びデータ収録装置

(1) 直流電源装置

直流電源装置（日立・計測器事業部 X-SID-2型）は図12に示すように、高圧電源とフィラメント電源からなる。高圧電源は DC 600V, 1Aの容量を持ち、定格はDC 400Vで使用する。フィラメント電源は DC 7.5V, 4Aの容量を有する。フィラメント電源には電流を検出して、定電圧で供給できるような制御回路がついている。

(2) 直流電流測定装置

直流電流はデジタルエレクトロメータ（アドバンテスト R8240）を用いて測定する。このデジタルエレクトロメータは直流電圧と直流電流の測定機能を持ち、4.5桁の数値を表示する。

電圧測定には $10^{13}\Omega$ の高入力インピーダンスをもち、 $10\mu V \sim 20V$ 範囲の測定が出来る。電流測定は $10fA \sim 20mA$ にわたる広範囲な測定が可能である。積分時間を選択設定することによって、入力信号に含まれているノイズに対して安定な測定が出来る。

また、このデジタルエレクトロメータはGP-IBインターフェースを装備し、パソコンなどと組み合わせてパラメータの設定、読みだし、データの出力など自動計測システム用として使用可能である。

(3) 測定電流収録装置

測定する電流は刻々変化する量なので、パソコンにもGP-IBインターフェースボードを装着して、デジタルエレクトロメータからの測定電流を磁気ディスクに収録する。GP-IBインターフェースボードはNEC製のボード(PC9801-29n)を用いる。作成したデータ収録プログラムを付録1に示す。

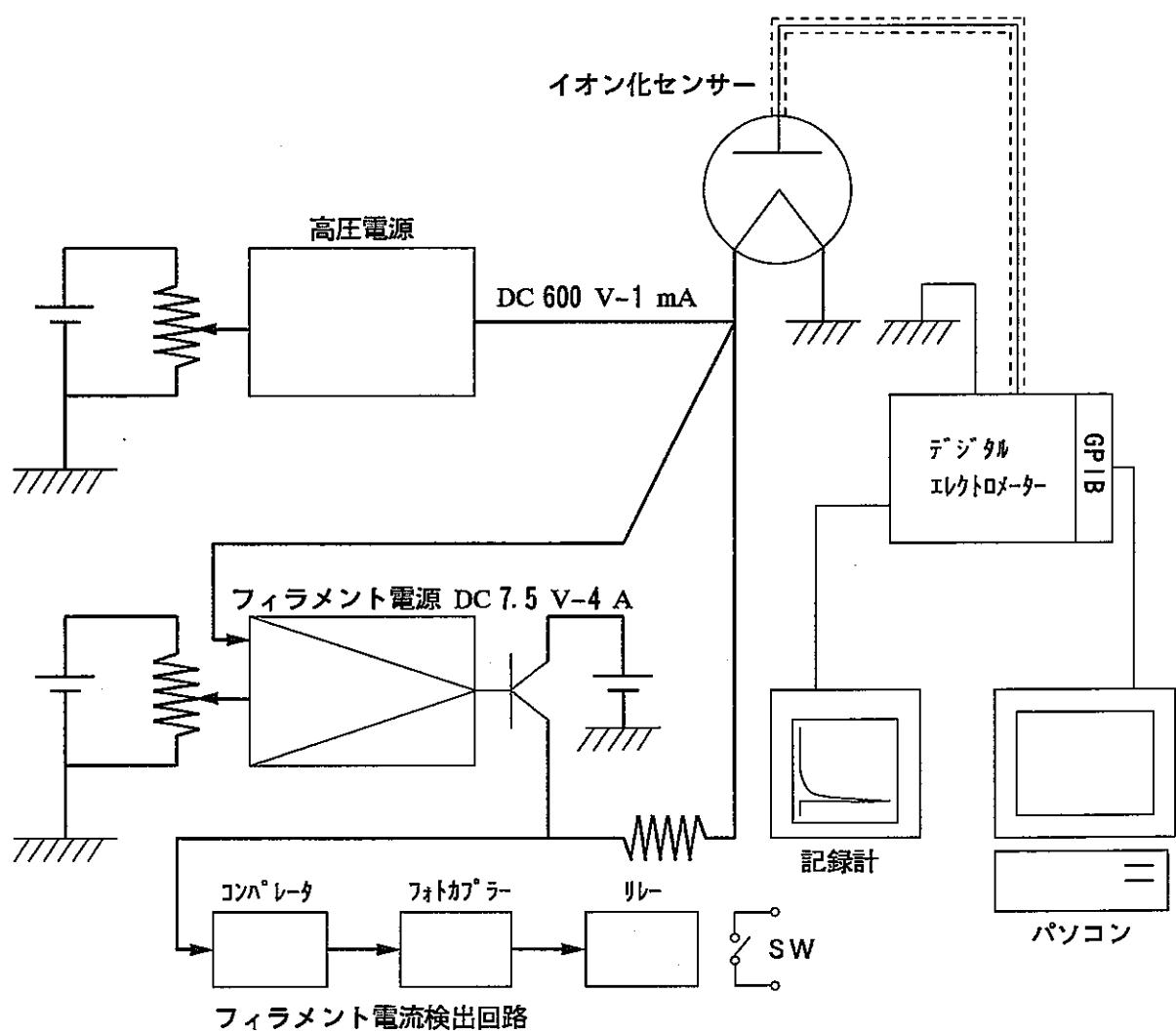


図 12 直流電源及び記録装置

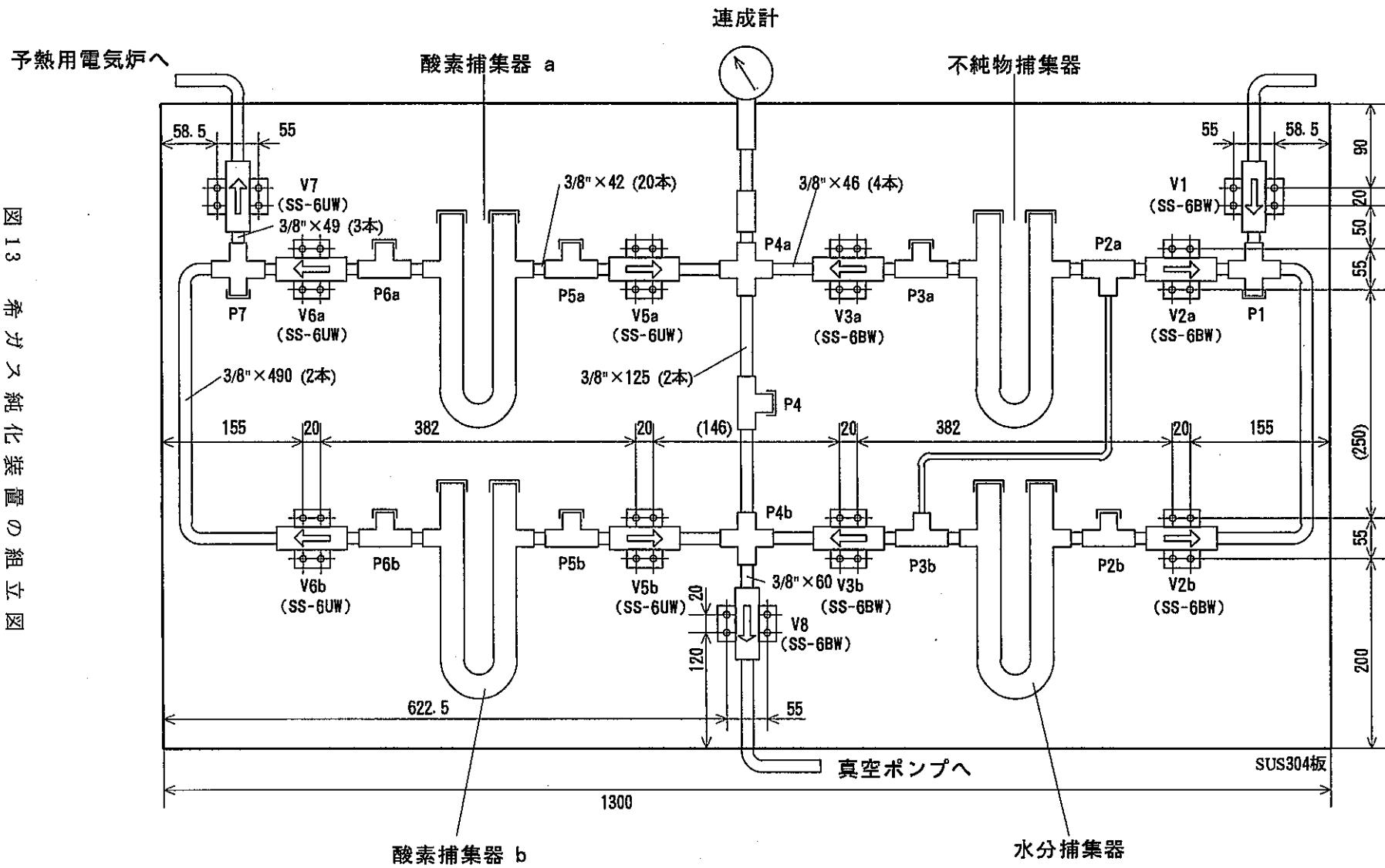
4.4 希ガス純化装置

搬送ガスとして超高純度アルゴン（純度 99.999%）を用いるが、さらに脱水分と脱酸素を計る。図13に希ガス純化装置の組立図を示す。東洋高圧ガス（株）より購入した圧力 150 kgf/cm^2 詰めのボンベよりアルゴンを供給し、U字管形の水分捕集器、不純物捕集器及び酸素捕集器の中を通してガス予熱用の電気炉に導く。図13において矢印を書き込んだ V1, …, V7 は口径 $3/8''$ のベローズバルブを示し、右側に中温度用（NUPRO社製 SS-6BW）を、左側に高温度用（同 SS-6UW）のものを用いている。酸素捕集器は a, b の 2 系統あり、これらのベローズバルブを開閉することにより、系統を切換えることが出来る。記号 P1, …, P7 は、三方継手あるいは四方継手を示す。継手のキャップをはずし配管を接続すれば、いろいろな流路を作ることが出来る。

水分捕集用の U 字管には和光純薬工業（株）製のシリカゲル（小粒状、青色）を約 90g 充填し、水分捕集を室温で行なう。センサー出力のバックグラウンドを低減するために、不純物捕集用 U 字管には東洋カルゴン（株）製の BPL 粒状活性炭を約 70g 充填し、室温で不純物の捕集を行なう。酸素捕集用 U 字管にはキシダ化学（株）製の有機元素分析用還元銅線 ($0.6\phi \times 2\sim 5\text{mm}$) を各々約 280g 充填し、酸素捕集を $400\sim 450^\circ\text{C}$ で行なう。

図 13 希ガス 純化装置の組立図

- 28 -



4.5 エアロゾル捕集器

拡散カラム頂部から出たヨウ化セシウム蒸気は、搬送ガスよって運ばれる過程で冷却され、一部エアロゾルとなる。エアロゾル化したヨウ化セシウムを捕集するため、フィルター方式の捕集器を用いる。図14にこのフィルターを装着したエアロゾル捕集器の構成を示す。エアロゾルは可能な限り微粒なものまで捕集する目的から、フィルターは呼称孔径 $0.5\mu\text{m}$ で、ステンレス鋼粉末をカップ形に（外径17.3mm、長さ21.4mm）に焼結したもの（Nupro SS-8F-05）を用いる。

写真3に測定装置と搬送ガス循環装置の全景、写真4に温度制御盤の前面を示す。

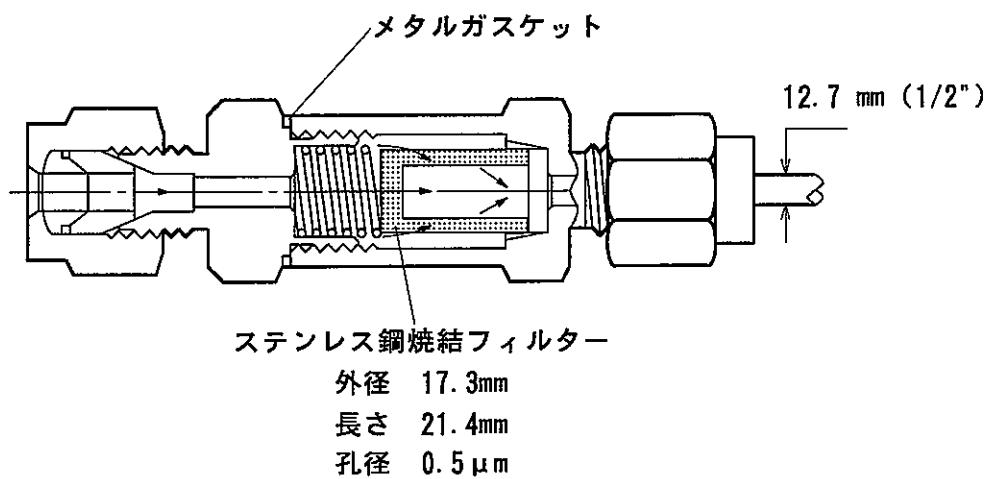


図 14 エアロゾル捕集器

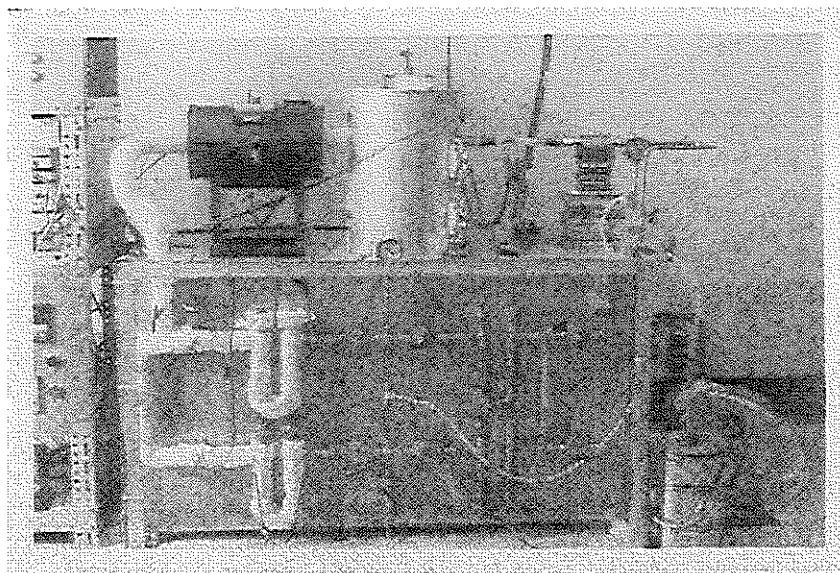


写真3 測定装置と搬送ガス循環装置の全景

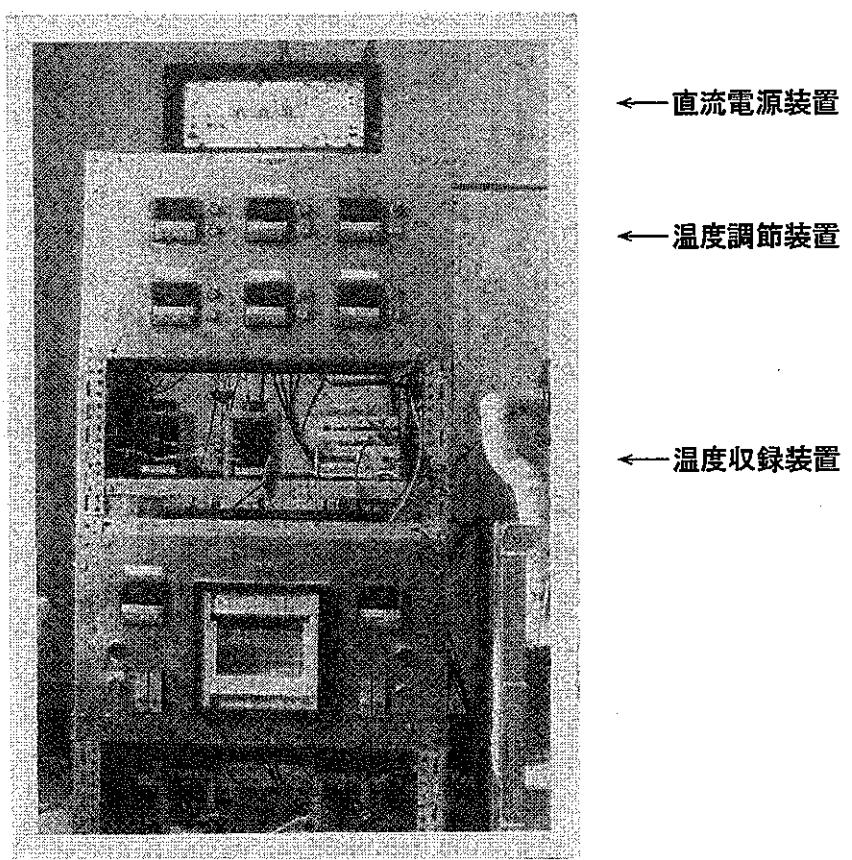


写真4 溫度制御盤の前面

5. 実験方法

5.1 実験経過

(a) 拡散カラム温度分布の設定

拡散カラムの中で希ガス-ヨウ化セシウム（蒸気）の混合気体が自然対流を起こすと、拡散係数より過大な値を測定することになる。そこで、拡散カラムの底部（溶融ポット）から頂部へ向かって、上昇する温度勾配を設けた。しかしながら、温度勾配が大きくなると熱拡散の効果で、重いヨウ化セシウム（蒸気）が垂直な拡散カラムの下方に集まる傾向が認められたので、温度勾配は $12^{\circ}\text{C} / 37\text{cm}$ 程度に定めた。拡散カラム加熱炉の下部温度は溶融ポットの温度に設定するので、温度が滑らかに上昇するように、中央部と上部のヒータの設定温度を調節した。

(b) 拡散カラムと循環回路圧力のバランス

拡散カラム頂部のバルブを開いて、拡散物質を搬送ガスに乗せるとき、拡散カラムの内圧が循環回路内圧よりも高いと、希ガス-ヨウ化セシウム（蒸気）の混合ガスがカラムより吹き出し、逆に低いと搬送ガスが吹き込む。センサー出力の時間変化を眺めると、搬送ガスがカラムに吹き込んだ場合の方が、カラム内の拡散を乱す度合が大きく、また回復するのに時間がかかるのがわかった。そこで、測定のためバルブを開く2時間以前に、バルブを数秒間開いて、拡散カラムと循環回路の圧力をバランスさせた。さらに、測定時には循環回路圧力をこのバランス時より僅かに（0.1気圧程度）下げるようとした。

(c) 沈着エアロゾルの除去

拡散カラム頂部のバルブを開いて何度か測定を行なうと、エアロゾルがセンサーのガラス管内表面、およびコレクター内表面に付着するのが観察された。ガラス管内表面が曇るようになると、センサー出力のバックグラウンドのレベルが上がり、さらには経過時間と共に上昇し続けるようになる。これはセンサー電極間の絶縁抵抗が低下することに加え、搬送ガスの流動抵抗が増加したためと考え、ガス予熱炉、拡散カラム加熱炉の温度を常温まで下げてから、センサーを取り外して水道水で付着エアロゾルを洗浄した。ヨウ化セシウムのエアロゾルは簡単に除去できるので、センサーを乾燥の上再び測定装置に取り付けた。

(d) センサー温度の制御

アルゴンガス中の拡散係数測定において、センサー上流側の加熱器の温度の温度設定値を上げると、アルゴンの密度が小さくなり、ヨウ化セシウム濃度が相対的に上昇して、センサー出力も上昇する傾向が認められた。特に、拡散カラムの温度が高くなるに従い、搬送アルゴンの温度も合わせて高くしたので、センサーのガラス管の絶縁抵抗が低下するのも加わり、出力のバックグラウンドレベルも高くなつた。拡散カラム出口導管の保温を強化して、センサーのところで自然放冷させるようにした。

(e) 活性炭捕集器の追加

希ガスは予熱炉導管、カラム頂部センサー、精製装置等を循環しているので、不純物が再びセンサーに検知されると、これもバックグラウンドレベルを上げる要因となる。エアロゾル捕集器を通過したヨウ化セシウム蒸気および微粒子を捕集する目的で、水分捕集器と酸素捕集器の間に、活性炭を充填した捕集器を追加挿入した。

5.2 実験手順

いくつかの試行錯誤の結果、次のような手順に従って実験を進めた。

(a) 拡散カラムの温度設定

- ① 記録計チャート送りを開始する。
(記録計の温度指示はあらかじめ作動させておく。)
- ② 循環プロワを運転開始する。
- ③ カラム加熱炉の上部、中央部、下部の温度を所定の温度に設定する。
- ④ 低温部側カラムの温度分布が定常状態になったことを確認する。

(b) 拡散カラム内の圧力バランス

- ① 循環回路のガス圧を1.0気圧（絶対圧力）に設定する。
- ② 循環プロワ吐出し側の圧力を正圧（1.2気圧）に保つ。
- ③ カラム頂部バルブを数秒間開け、カラム内圧を循環回路のガス圧と同じにする。
- ④ 拡散カラムの温度分布を2時間以上、設定状態に保持する。

(c) 測定の準備

- ① デジタルエレクトロメーターの電源をONにし、センサー出力を記録する記録計のレンジを選定する。
- ② センサー電源装置のフィラメント電源をONにして3Aに設定し、続いて高圧電源をONにして400Vに設定する。
- ③ センサー出力のバックグラウンドの時間的変化を記録計チャート上で監視する。バックグラウンドが安定するまで待つ。
- ④ 循環回路系のガス圧をカラム内圧バランス時と同値か0.1気圧低く設定する。

- ⑤ パソコンを起動し、センサー出力の記録プログラムを走らせる。（測定番号、測定時刻、センサー出力電流が固定ディスクに記録される。）
- ⑥ センサー出力のバックグラウンドを約5分間、固定ディスクに収録する。

(d) センサー出力の測定

- ① 拡散カラム頂部のバルブを開く。（測定開始時の測定番号をメモする。）
- ② センサー出力曲線が定常値に落ちついたら（バルブ開後約60分後）拡散カラム頂部バルブを閉める。（測定終了時の測定番号をメモする。）
- ③ センサー電源装置の高圧電源、続いてフィラメント電源を切る。
- ④ パソコンのセンサー出力収録プログラムを終了させる。
- ⑤ 記録計のチャート送りを止める。

(e) 待ち状態に復帰

- ① 循環プロワを停止する。
- ② 拡散カラム上部、中央部、下部の温度をそれぞれ600°C、ガス予熱炉を500°Cに設定する。
- ③ 循環回路圧力制御装置の上限圧力を1.2気圧に、下限圧力を1.1気圧に設定する。
- ④ 固定ディスク上のセンサー出力の記録をフロッピーディスクにコピーする。

6. 測定結果

6.1 測定条件

拡散係数の測定条件を付表1～付表3に示す。付表1～付表3において、流入口⑩, ⑭、出口⑨, ⑬、液面①、カラム②～⑦、弁体上⑪、弁体下⑧について示す量は、測定温度(℃)であり、加熱炉上部、加熱炉中央部、加熱炉下部について示す量、酸素捕集管、接続管、予熱炉制御、および予熱炉導管について示す量は設定温度(℃)である。ガス流量については標準流量(NL/min)、循環系圧力についてはゲージ圧(kgf/cm²)、イオン化センサーの印加電圧については電圧(V)、同センサーのフィラメント電流については電流(A)、センサーのバックグラウンド(BG)出力についてはセンサー出力電流(nA)、および測定時間については時間(min)を示す。

付表1-1～付表1-10は、631℃から691℃までヨウ化セシウム液面温度を5段階に変化させ、アルゴンガス中にヨウ化セシウム蒸気を拡散させた実験の条件を示し、同様に付表2-1～付表2-13はクリプトンガス中にヨウ化セシウム蒸気を拡散させた実験条件を、付表3-1～付表3-5はキセノンガス中にヨウ化セシウム蒸気を拡散させた実験の条件を示したものである。

以上のような測定条件で、ベローズバルブを開き、カラム中を拡散してくるヨウ化セシウム蒸気をイオン化センサーに搬送し、イオン電流をデジタルエレクトロメータを用いて計測し、磁気ディスクに収録した。

6.2 測定結果

図15は実験CsI002におけるセンサー出力値とセンサー出力の積分値を例にとり、これをグラフ化した結果である。拡散カラムの頂部の弁を開くと、直ちにセンサーの出力は急上昇して5800nAに達し、以後指数関数的に減少しながら定常値450nAに漸近していくのがわかる。センサー出力値が定常状態に近づくに従い、センサー出力積分曲線は直線になる。この積分直線上で接線を引き、時間軸との交点を付録2の計算プログラムより求める。このように求めたアルゴンガス中ヨウ化セシウムの拡散係数の測定結果を表1示す。同様にして求めたクリプトンガス中ヨウ化セシウムの拡散係数の測定結果を表2に、キセノンガス中ヨウ化セシウムの拡散係数の測定結果を表3に示す。

図 15 イオン化センサー出力と出力積分値曲線 (CsI030 の例)

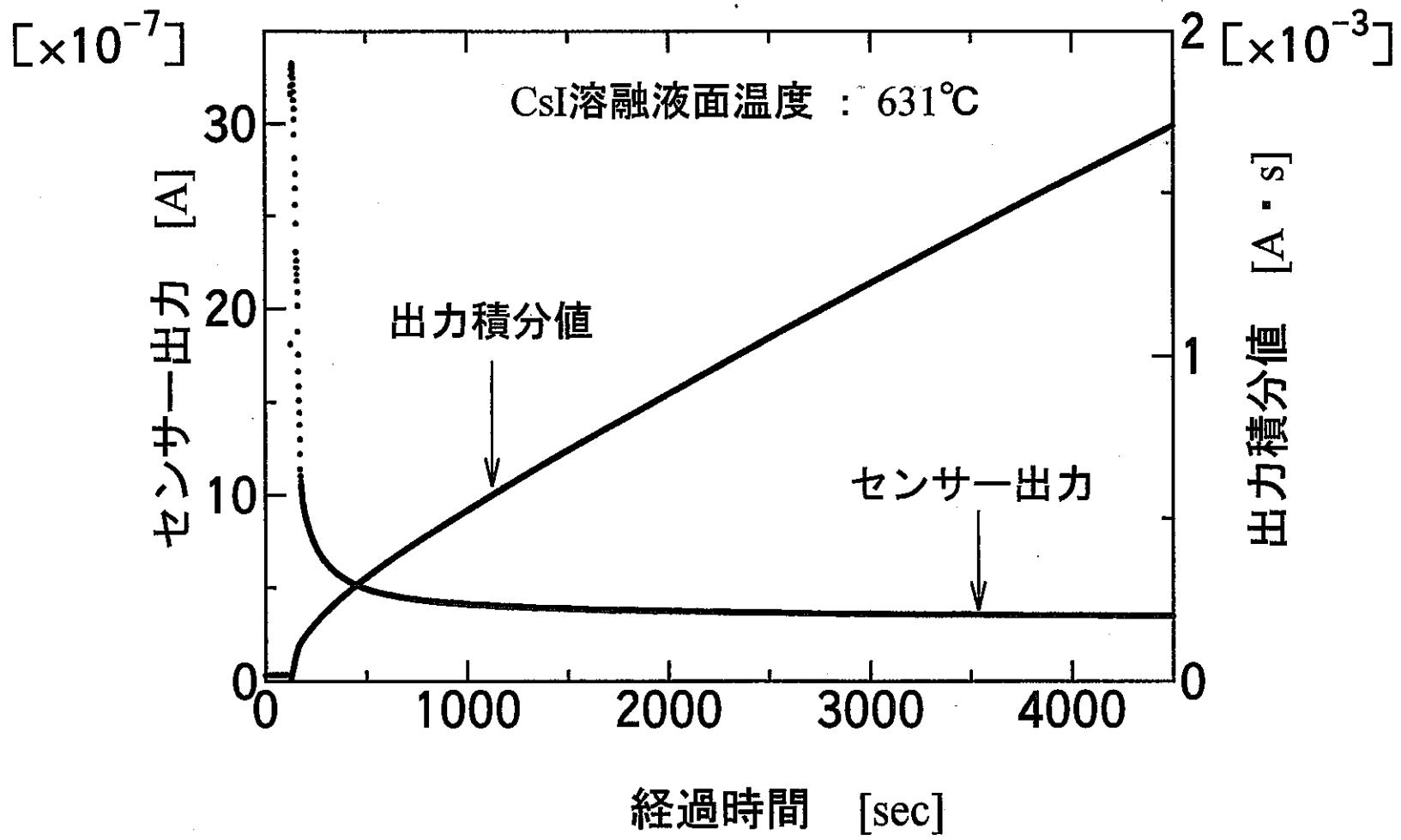


表1 Arガス中CsI拡散係数の測定結果

実験 No.	溶融ポット 液面温度 (°C)	センサーの 出力積分値 ($\times 10^{-3} \text{A}\cdot\text{s}$)	拡散係数 (cm^2/s)
CsI031		1.73473	0.53
CsI032	631	1.36890	0.47
CsI033		1.65082	0.49
CsI034		1.63267	0.49
CsI010		2.74221	0.64
CsI011	646	2.68746	0.56
CsI012		2.69430	0.55
CsI013		3.44830	0.67
CsI015	661	3.37735	0.73
CsI016		4.70102	0.70
CsI017		3.34424	0.65
CsI018		4.18613	0.72
CsI020	676	3.31876	0.69
CsI022		3.40539	0.78
CsI024		3.70900	0.76
CsI028	691	5.10358	0.89
CsI041		3.73942	0.85

表2 Krガス中CsI拡散係数の測定結果

実験 No.	溶融ポット 液面温度 (°C)	センサーの 出力積分値 ($\times 10^{-3} A \cdot s$)	拡散係数 (cm ² /s)
CsI143	631	1.12123	0.49
CsI144		1.17737	0.55
CsI147	646	1.30334	0.59
CsI148		1.31036	0.61
CsI145	661	1.61914	0.54
CsI146		1.57978	0.53
CsI149	676	2.34037	0.68
CsI150		2.38950	0.67
CsI141	691	2.05263	0.57
CsI142		1.89410	0.55

表3 Xeガス中CsI拡散係数の測定結果

実験 No.	溶融ポット 液面温度 (°C)	センサーの 出力積分値 ($\times 10^{-3} A \cdot s$)	拡散係数 (cm ² /s)
CsI102		0.54197	0.58
CsI103		0.57249	0.59
CsI104	631	0.61248	0.75
CsI123		0.83523	0.78
CsI124		0.81869	0.75
CsI108		0.91710	0.67
CsI109	646	0.94189	0.61
CsI110		0.96597	0.71
CsI111		1.05507	0.75
CsI112	661	1.08620	0.76
CsI113		1.02796	0.62
CsI114		1.22403	0.55
CsI115		1.15912	0.52
CsI118	676	1.13803	0.52
CsI119		0.99157	0.65
CsI120		0.97822	0.71
CsI121	691	1.42785	0.71
CsI122		1.40719	0.79

7. 結果の検討

7.1 拡散係数の推算

拡散係数を推算する式として Chapman と Enskog の理論式、実験データから経験的定数を加えた Fuller-Scheltter-Gidding の相関式、Wilke-Lee の相関式などが報告されている [11]。ここでは信頼度が高く、広い温度範囲に適用できるとされる Wilke-Lee の相関式 [12]

$$D_{AB} = C \cdot T^{3/2} \cdot \frac{[(M_A + M_B) / M_A M_B]^{1/2}}{P \cdot \sigma_{AB}^2 \Omega_D} \quad (6)$$

$$C = 0.00217 - 0.00050 \left(\frac{(M_A + M_B)}{M_A M_B} \right)^{1/2} \quad (7)$$

を用いる。ここで

D_{AB} = 相互拡散係数 (cm^2/s)

M_A, M_B = A, B 成分の分子量

T = 温度 (K)

P = 圧力 (atm)

σ_{AB} = A, B 成分間の相互作用距離パラメータ (Å)

$$= (\sigma_A + \sigma_B) / 2 \quad (8)$$

Ω_D = 拡散の衝突積分 (-)

である。衝突積分 Ω_D は $T^* = kT / \epsilon_{AB}$ の関数で

$$\Omega_D = \frac{A}{T^{*B}} + \frac{C}{\exp DT^*} + \frac{E}{\exp FT^*} + \frac{G}{\exp HT^*} \quad (9)$$

のように表わされる。ここで、 k はボルツマン定数である。

また、

$$\begin{array}{ll} A = 1.06036 & B = 0.15610 \\ C = 0.19300 & D = 0.47635 \\ E = 1.03587 & F = 1.52996 \\ G = 1.76474 & H = 3.89411 \end{array}$$

である。衝突積分の式に現われる ε_{AB} は

$$\begin{aligned} \varepsilon_{AB} &= \text{分子間ポテンシャルの } A, B \text{ 成分間相互作用} \\ &\quad \text{エネルギー parameter} \\ &= (\varepsilon_A \cdot \varepsilon_B)^{1/2} \end{aligned} \tag{10}$$

で表わされる。

表4に、温度 $T=945\text{ (K)}$ 、圧力 $P=1.2\text{ (atm)}$ におけるアルゴン、クリプトン、及びキセノンガス中ヨウ化セシウム蒸気の拡散係数を用いて推算した結果を示す。表4に示す M_{AB} は、 $[(M_A+M_B)/M_AM_B]^{1/2}$ である。アルゴン、クリプトン、キセノンの分子間ポテンシャルの特性エネルギー parameter ε_A と、同じく特性距離 parameter σ_A は、粘度データから決定された Lennard-Jones型ポテンシャルより求める。ヨウ化セシウム分子間ポテンシャルの特性エネルギー parameter ε_B $= \varepsilon_{cst}$ と特性距離 parameter $\sigma_B = \sigma_{cst}$ は、Lennard-Jones型ポテンシャルから求められてないため、特性エネルギー parameter ε_{cst} は、Wilke-Leeの提案した式

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cst} / k &= 1.15 T_b \\ &= 1.15 \times 1553 \\ &= 1786 \text{ (K)} \end{aligned} \tag{11}$$

を用いる。ここで、 T_b は 標準沸点(K)である。特性距離パラメータ $\sigma_B = \sigma_{CsI}$ は CsI 分子間距離 : 3.95 (Å) とほぼ等しいと近似し、

$$\sigma_{CsI} = 3.95 \text{ (Å)}$$

とする。

表4 を見ると、ヨウ化セシウム蒸気の拡散係数 D_{AB} は、拡散媒体の分子量によってアルゴンガス中、クリプトンガス中、キセノンガス中の順に小さくなる。このように Wilke-Lee の相關式を用いて推算した拡散係数と温度の関係を、アレニウスプロットすると図16 のようになる。

表4 拡散係数の推算に用いたパラメータ

	A r	K r	X e
M _A	39.9	83.8	131.3
M _B	260	260	260
M _{AB}	0.170	0.126	0.107
C × 10 ⁻³	2.085	2.107	2.117
ε _A /k (K)	93.3	178.9	231.0
ε _B /k (K)	1786	1786	1786
ε _{AB} /k (K)	408	565	642
T*	2.29	1.65	1.45
Ω _D	1.028	1.154	1.216
σ _A (Å)	3.54	3.66	4.05
σ _B (Å)	3.95	3.95	3.95
σ _{AB} (Å)	3.75	3.80	4.00
拡散係数 の推算値 D _{AB} (cm ² /s) *	0.584	0.378	0.278

† T=934[K]、P=1.2[atm]

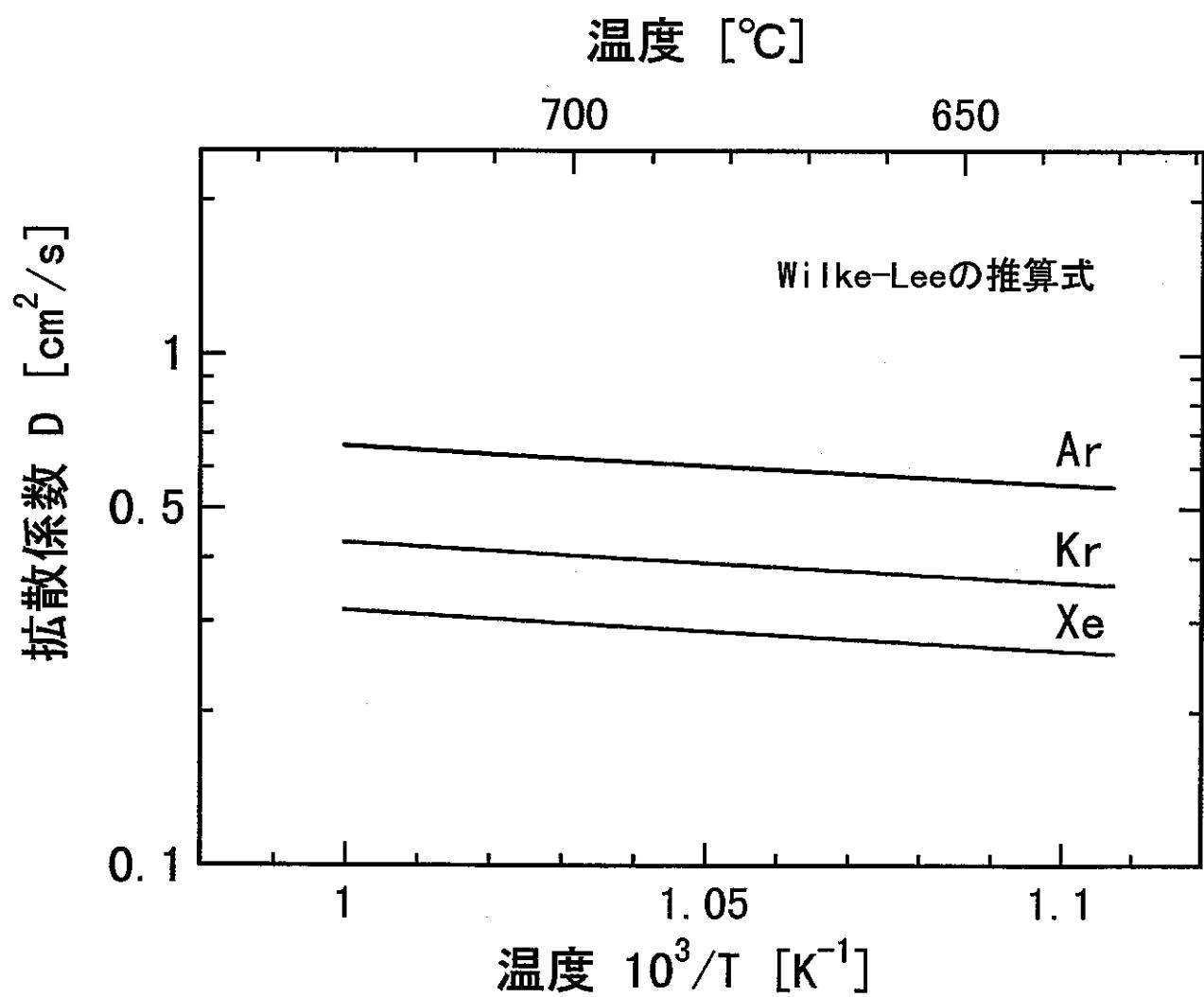


図 16 拡散係数推算値と温度の関係

7.2 測定値と推算値の比較

ヨウ化セシウムのアルゴンガス中拡散係数の測定値と推算値を表5に、同じくクリプトンガス中の測定値と推算値を表6に、キセノンガス中の測定値を表7に表示する。さらにアルゴンガス中、クリプトンガス中、キセノンガス中における拡散係数の測定値の対数を、測定温度の逆数に対してプロットした結果を、それぞれ図17、図18、図19に示す。

図17～19の結果から、拡散係数の測定値はアルゴンガス中では推算値とほぼ同値であるが、クリプトンガス中では推算値の約1.5倍、キセノンガス中では推算値の約2.6倍であることが認められる。また、拡散係数の測定値はアルゴンガス中の結果を除き、推算値と同様の温度変化率を示している。

図17～19の結果を重ね合わせると、アルゴンガス中、クリプトンガス中、キセノンガス中の拡散係数の測定値は、有意な差がないことがわかる。

アルゴンガス中の拡散係数の温度変化率が推算値のそれより大きいように観測されたので、クリプトンガスおよびキセノンガス中の拡散係数を測定するに当って、イオン化センサーを交換した。クリプトシガスおよびキセノンガス中で測定した拡散係数では、その温度変化率が推算値とほぼ一致した。この事実から、アルゴンガス中の拡散係数の温度変化率が推算値より大きいのは、センサーの特性が変化したためと理由づけることが可能である。

クリプトンおよびキセノンガス中で測定した拡散係数が、推算値より大きい値を示すのは、ヨウ化セシウムの分子量が260と大きいことと関連がありそうである。即ち、ヨウ化セシウム蒸気は重い拡散物質であるので、気体拡散の他に熱拡散、凝集、沈着等が同伴する可能性が考えられる。しかし、使用した実験体系からは、気体拡散にいかなる効果が同伴したのかは識別が困難である。これらを同伴効果から分離して拡散係数を求める方法、拡散係数を推算する関係式のパラメータを吟味することが、今後の課題である。

表5 Arガス中CsI拡散係数の推算値と測定値

実験 No.	溶融ポット 液面温度 (K)	拡散係数 推算値 (cm ² /s)	拡散係数 測定値 (cm ² /s)
CsI031			0.53
CsI032	904	0.55	0.47
CsI033			0.49
CsI034			0.49
CsI010			0.64
CsI011	919	0.57	0.56
CsI012			0.55
CsI013			0.67
CsI015	934	0.58	0.73
CsI016			0.70
CsI017			0.65
CsI018			0.72
CsI020	949	0.60	0.69
CsI022			0.78
CsI024			0.76
CsI025	964	0.62	1.02
CsI025			0.98
CsI028			0.89

表6 Krガス中CsI拡散係数の推算値と測定値

実験 No.	溶融ポット 液面温度 (K)	拡散係数	拡散係数
		推算値 (cm ² /s)	測定値 (cm ² /s)
CsI143	904	0.35	0.49
CsI144			0.55
CsI147	919	0.37	0.59
CsI148			0.61
CsI145	934	0.38	0.54
CsI146			0.53
CsI149	949	0.39	0.68
CsI150			0.67
CsI141	964	0.40	0.57
CsI142			0.55

表7 Xeガス中CsI拡散係数の推算値と測定値

実験 No.	溶融ポット 液面温度 (K)	拡散係数 推算値 (cm ² /s)	拡散係数 測定値 (cm ² /s)
CsI102			0.58
CsI103			0.59
CsI104	904	0.26	0.75
CsI123			0.78
CsI124			0.75
CsI108			0.67
CsI109	919	0.27	0.61
CsI110			0.71
CsI111			0.75
CsI112	934	0.28	0.76
CsI113			0.62
CsI114			0.55
CsI115			0.52
CsI118	949	0.29	0.52
CsI119			0.65
CsI120			0.71
CsI121	964	0.30	0.71
CsI122			0.79

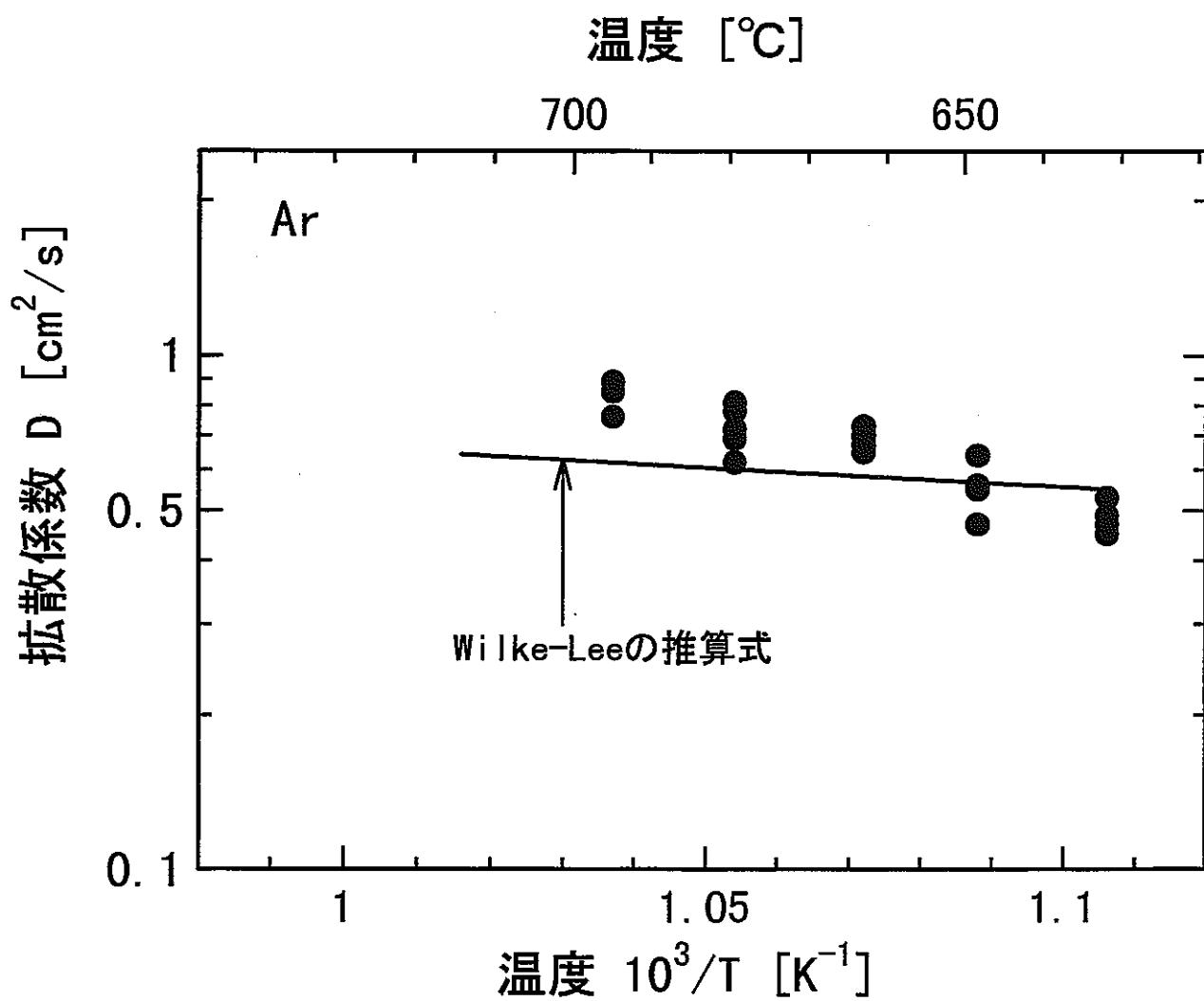


図 17 Arガス中 CsI拡散係数と温度の関係

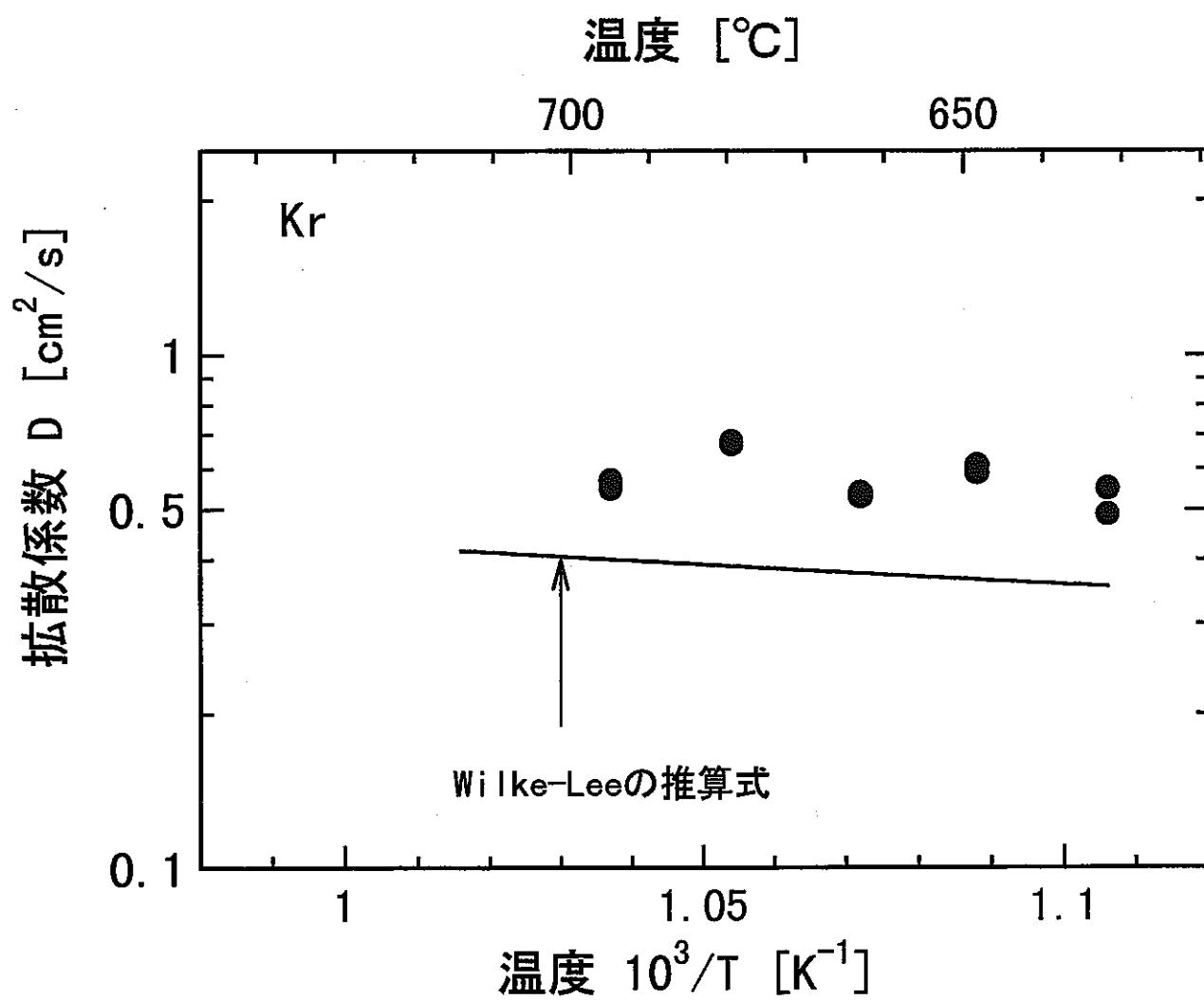


図 18 Krガス中 CsI拡散係数と温度の関係

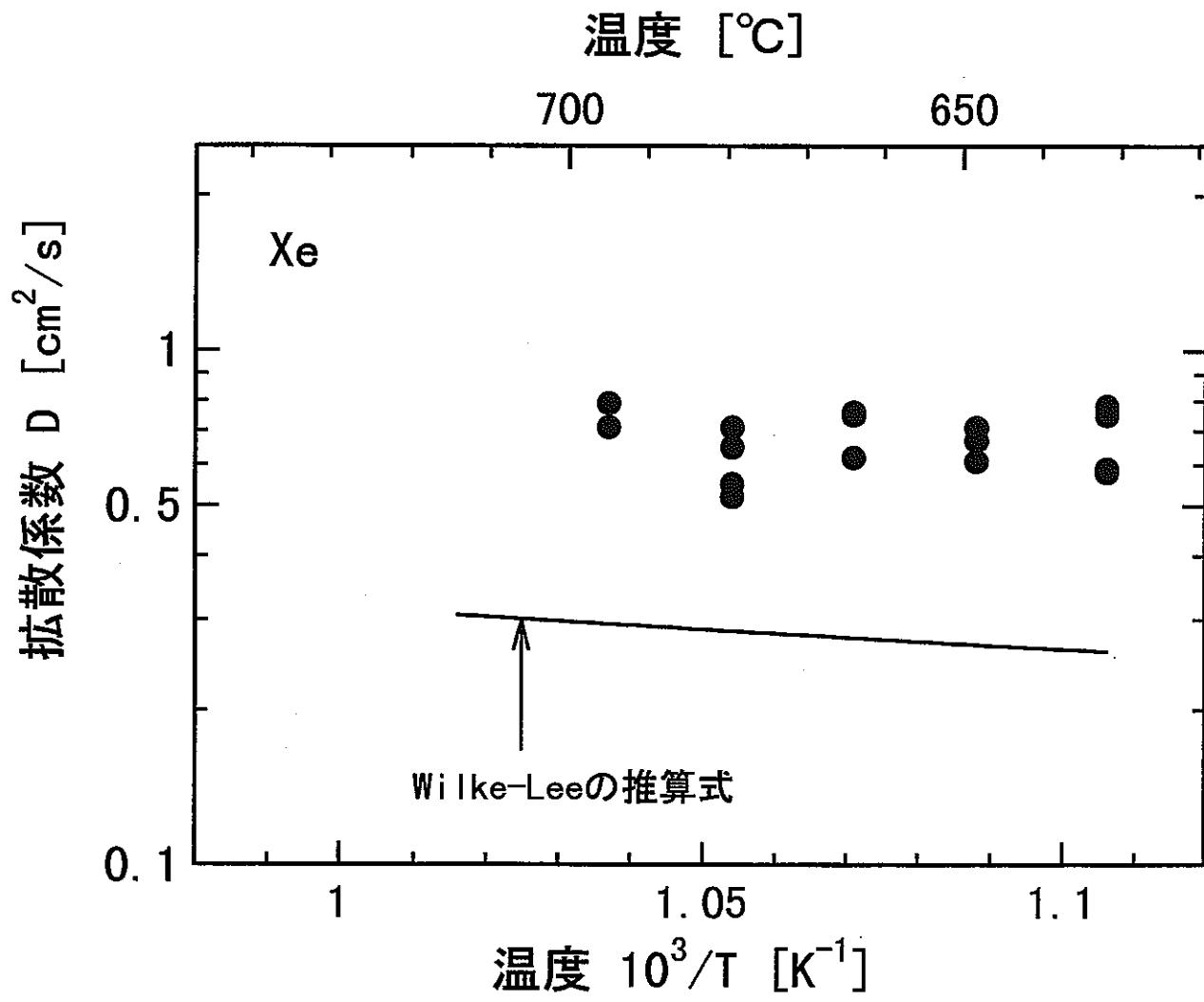


図 19 Xeガス中 CsI拡散係数と温度の関係

8. 結 言

本研究では、希ガス中に置けるヨウ化セシウム（蒸気）の拡散係数を、新たに改良した方法で測定することを試みた。実験を要約すると次のようになる。

- (1) 従来の拡散係数の測定法を調査して測定装置を単純化して測定量を少なくし、更に測定時間を短縮して拡散物質を精度よく定量することが、拡散係数測定のポイントであることを示した。
- (2) 拡散カラム底部で拡散物質を溶融し、発生する蒸気をカラム頂部から搬送ガスによって捕集器に集める Stefan 法を改良することを試みた。すなわち、拡散カラム底部に溶融ポットを、頂部にベローズバルブを接続し、溶融ヨウ化セシウムの液面から蒸気を発生させて拡散カラム内を飽和濃度にしておき、頂部のバルブを開いてカラム中を拡散して来るヨウ化セシウムを、搬送ガスによってイオン化センサーに導き、続いてエアロゾル捕集器中に捕集すると云う測定システムを設計・製作した。
- (3) 測定開始時及び液面上で飽和濃度、カラム頂部で濃度零の条件のもとに一次元の拡散方程式を解き、測定開始後からカラム頂部断面を通過する拡散物質濃度の時間的変化を求めた。この拡散物質の量が時間経過とともに漸近する直線を描き、漸近線が時間軸を切る点から拡散係数を算出できることを示した。
- (4) 拡散カラムに溶融ポット及びベローズバルブを接続した測定体をカラム加熱炉に装着し、拡散カラム中で自然対流が発生しないように、独立した3段の輻射加熱ヒーターで加熱し、ヨウ化セシウムの液面から拡散カラム頂部に向かって、僅かに上昇するようく温度分布を制御した。

- (5)搬送ガスとしてキセノン、クリプトンを使用することを考慮して、搬送ガスを循環させる回路とし、ステンレス鋼焼結フィルターを装着したエアロゾル捕集器、シリカゲルを充填した水分捕集管、活性炭を充填した不純物捕集管、還元銅細線を充填した酸素捕集管中を通すことにより、搬送ガスを精製する構成にした。
- (6)イオン化センサーを用いて、希ガス中のヨウ化セシウム（蒸気とエアロゾル）濃度をオンライン計測するとともに、センサーの出力電流をパソコンに収録するプログラムと、収録したデータから拡散係数を算定する計算プログラムを作成した。

測定した結果から得られる結論を述べると次のようになる。

- (7)アルゴンガス中で測定したヨウ化セシウム（蒸気）の拡散係数は推算値とほぼ同値であるが、クリプトンガス中におけるそれは推算値の約1.5倍、キセノンガス中におけるそれは推算値の約2.6倍である。
- (8)これらの拡散係数の測定値は、アルゴンガス中の結果を除き、推算値に近似な温度変化率を示す。
- (9)アルゴンガス中、クリプトンガス中、キセノンガス中で測定したヨウ化セシウムの拡散係数には、相互に有意な差が認め難い。

9 . 参考文献

- [1] Kunkel, W. P. : Fission-product retention in sodium, NAA-SR-11766 (1966)
- [2] Castleman, A. W. and Tang, I. N. : Vaporization of fission products from irradiated fuels, Nuclear Science and Engineering, Vol. 29, p159 (1967)
- [3] Kieholtz, C. W. and Battle, C. C. : Fission product release and transport in liquid metal fast breeder reactors, ORNL-NSIC-37 (1969)
- [4] Castleman, A. W. and Tang, I. N. : Fission product vaporization from sodium systems, BNL-13099 (1968)
- [5] Holson, J. N., and M. R. Strunk : Ind. Eng. Chem. Fundam., 3: 163 (1964)
- [6] Seager, S. L., L. R. Geertson, and J. C. Giddings: J. Chem. Eng. Data, 8:168(1963)
- [7] Srivastava, B. N., and I. B. Srivastava : J. Chem. Phys., 36: 2616 (1962)
- [8] Ivanovskii, M. N. , et al : Interdiffusion during the condensation of potassium vapor from a gas mixture, Teplofizik vysokikh temperatur, Vol. 7, p479 (1969)
- [9] Khomchenkov, B. Ml. , et al : Diffusion coefficients of cesium and potassium vapors in helium and argon, Teplofizik vysokikh Temperatur, Vol. 6, p999 (1968)
- [10] Yamamoto, H., et al : Development of Fluctuation monitor Type sodium ionization Detector, J. Nucl. Sci. and Technol. Vol. 23, p573 (1986)
- [11] Lugg, G. A. : Anal. Chem. , 40 : 1072 (1955)
- [12] Wilke, C. R. and C. Y. Lee : Ind. Eng. Chem., 47 : 1253 (1955)

謝　　辞

本研究は動力炉・核燃料開発事業団、大洗工学センター、安全工学部プラント安全工学プラント安全工学室から、茨城大学工学部機械工学科 佐川憲彦が受託して実施したものである。

測定装置部品を製作するに当たり、同プラント安全工学室 原 広室長をはじめ研究員、実験補助員の方々にご協力を頂いた。イオン化センサーの設計および電源については、（株）日立製作所（計測事業部）葛西省三氏から多々助言と助力を頂いた。また、不純物捕集に用いた活性炭については、日立マテリアルエンジニアリング㈱、多田邦夫氏から助言を頂いた。

終わりに臨み上記のご指導・ご協力頂いた方々に、厚く感謝致します。

付録1 データ収録用プログラム（第1/2頁）

```
100 ' ****
110 ' *
120 ' *      R8240 CONTROL PROGRAM      *
130 ' *
140 ' ****
150 '
160 INPUT "INPUT FILE NAME FROM KEY BOARD"; NAM$           '
161                                     'データファイル名を読み込み
170 INPUT "INPUT MEASURING TIME IN HOURS"; TT            '
171                                     '測定時間限度を読み込み
180 OPEN "A:¥BASIC¥"+NAM$+".OUT" FOR OUTPUT AS #1       '
181                                     '読み込んだ名のファイルを開く
190 '
200 PRINT #1, DATE$; ", " ;TIME$                         '
201                                     '日付と時刻をファイルに書き込み
210 T0$=TIME$                                         '
211                                     '時刻を秒単位に換算
220 TOH=VAL(LEFT$(T0$, 2))
230 TOM=VAL(MID$(T0$, 4, 2))
240 TOS=VAL(RIGHT$(T0$, 2))
250 TOSS=TOH*3600+TOM*60+TOS
260 '
270 ISET IFC                                         '
271                                     'インターフェース・クリア
280 ISET REN                                         '
281                                     'リモート・イネーブル
290 CMD DELIM=0                                     '
291                                     'デリミタを CR+LF に設定
300 J=0                                              '
301                                     '測定回数を初期化
310 '
320 PRINT @1; "C"                                    '
321                                     'R8240 デバイスを初期化
330 PRINT @1; "F2,R0,M01,DG0,IT2"                   '
331                                     'R8240 パラメータを設定
332                                         'F2 …直流電流測定
333                                         'R0 …AUTO RANGE
```

データ収録用プログラム（第2/2頁）

```
334          ' M01 …SAMPLING HOLD
335          ' DGO …DRIVING GUARD OFF
336          ' IT2 …積分時間を5 PLCに
340 '
350 FOR I=1 TO 32000           ' 測定回数の限度を 32000回
360     J=J+1
370     INPUT WAIT 10, " "; NUL$           ' 1秒間待ち
380     PRINT @1; "E"           ' R8240 にスタートを指令
390     INPUT @1; A$           ' R8240 に測定データ受信を指令
400     T$=TIME$           ' 現時刻を秒単位に換算
410     TH=VAL(LEFT$(T$, 2))
420     TM=VAL(MID$(T$, 4, 2))
430     TS=VAL(RIGHT$(T$, 2))
440     TSS=TH*3600+TM*60+TS
450     DT=TSS-TOSS           ' 測定開始からの時間 (秒)
460     LIMIT=3600*TT           ' 測定時間限度を秒単位
470 IF DT<LIMIT THEN 480 ELSE 530
480     DAT$=RIGHT$(A$, 11)           ' 測定時間限度内なら継続
481 '
490     PRINT J, TIME$, DT, A$           ' CRTに測定回数、現時刻、開始か
492 '
493     PRINT #1, J, DT, DAT$           ' らの時間、測定データを表示
500 '
501     PRINT #1, J, DT, DAT$           ' ファイルに測定回数、開始からの
502 '
503     PRINT #1, J, DT, DAT$           ' 時間、測定データを書き込み
504 '
510 NEXT I
520 '
530 PRINT #1, "FINISHED"           ' 測定時間限度を越えたら終了
540 END
```

付録2 拡散係数算定の計算プログラム（第1/7頁）

```

10 ' ****
20 ' *
30 ' * DETERMINATION OF DIFFUSION COEFFICIENT *
40 ' *
50 ' * 1996. 1 . 20 *
60 ' *
70 ' ****
100 CONSOLE,,,1 :SCREEN 3 :COLOR 7
110 DIM DAT(10000), QLT(10000), TT(10000)      '配列変数の宣言
120 CLS 3
130 LOCATE 10,10
140 PRINT "ディスクドライバー (A, B, C, D, E)"      'データを読み込む
                                                 'ドライブの選択
150 D$=INKEY$ : IF D$="" THEN GOTO 150
160 GOSUB *INIT          '画面の初期化
170 GOSUB *IP           '計算結果をファイルへ
180 BFNAM$=NAM$ : BFWNAM$=WNAM$
190 IF OPFLAG=0 THEN OPEN D$+"."+NAM$+".OUT" FOR INPUT AS #1
200 IF OPFLAG=0 THEN OPEN D$+"."+WNAM$+".DFP" FOR OUTPUT AS #2
210 IF OPFLAG=0 THEN OPEN D$+"."+WNAM$+".BAT" FOR OUTPUT AS #3
220 OPFLAG=1           '#1, #2, #3のファイルが
                           openしている状態
230 IF FFLAG=1 THEN 390
240 GOSUB *SE          '積分条件の入力
250 GOSUB *J           '計算中の表示
260 DTA=0              'DTAの初期化
270 INPUT #1, DAY$, TIM$      'データファイルから日付を
                           読み込む
280 PRINT #2, DAY$; ","; TIM$ 
290 PRINT #3, DAY$; ","; TIM$ 

```

拡散係数算定の計算プログラム（第2/7頁）

```

300 FOR I=1 TO E          'データファイルから測定値を
                           読み込む
310 INPUT #1, J, DT, DATC
320 TT(J)=DT              '測定時間を配列変数に組み込む
330 DAT(J)=DATC           '出力電流値を配列変数に組み込む
340 JI=I
350 COLOR 2
360 GOSUB *RCOU
370 NEXT I
380 GOSUB *UJ              '計算中の表示の解除
390 SUM=0                  'SUMの初期化
400 FOR H=S-100 TO S-1    'バックグラウンド値の算出
410 BDAT=BDAT+DAT(H)
420 COUH=H
430 NEXT H
440 BDAT=BDAT/COUH
450 FOR K=S TO E          '積分値の計算
460 IF (K-1)>0 THEN DTA=TT(K-1) ELSE DTA=0
470 DTT=TT(K)-DTA
480 SUM=SUM+DTT*(DAT(K)-BDAT)
490 QLT(K)=SUM              '積分値の配列変数への組み込み
500 PRINT #2, K, TT(K), DAT(K), QLT(K)      '結果の出力
510 JI=K
520 COLOR 4
530 GOSUB *RCOU             'READ No. の表示
540 NEXT K
550 GOSUB *UJ              '計算中の表示の解除
560 GOSUB *DOUT             '計算過程の表示
570 GOSUB *CAL              '接線と相関係数の計算
580 GOSUB *EN               '計算の終了の表示
590 GOSUB *OK               '継続の判定

```

拡散係数算定の計算プログラム（第3/7頁）

```
600  CLS 3
610  CLOSE          ' ファイルを閉じる
620  END
630  ' =====
640  ' =====      SUB-ROUTIN      =====
650  ' =====
660  *J          ' 計算中の表示
670  LOCATE 33,20:COLOR 4
680  PRINT "計算中  !!"
690  RETURN
700  *UJ         ' 計算中の表示の解除
710  LOCATE 33,20
720  PRINT"      "
730  COLOR 7
740  RETURN
750  *SE          ' 積分条件の入力
760  COLOR 6
770  LOCATE 8,4
780  PRINT "実験データの採用区間を入力します"
790  COLOR 7
800  LOCATE 8,5
810  INPUT "読み始めのデータナンバーを入力しなさい  ";S
820  LOCATE 8,6
830  INPUT "読み終わりのデータナンバーを入力しなさい  ";E
840  LOCATE 8,7
850  INPUT "バルブを開けたときの時間を入力しなさい  ";O
860  COLOR 7
870  RETURN
880  *EN          ' 計算の終了の表示
890  LOCATE 8,20 : COLOR 2
900  PRINT "計算終了  !"
```

拡散係数算定の計算プログラム（第4/7頁）

拡散係数算定の計算プログラム（第5/7頁）

```
1220 PRINT "DATA NUMBER=";L
1230 LOCATE 48, 13
1240 PRINT "TT (";L;")=";TT(L)
1250 LOCATE 48, 14
1260 PRINT "DAT(";L;")=";DAT(L)
1270 LOCATE 48, 15
1280 PRINT "QLT(";L;")=";QLT(L)
1290 NEXT L : RETURN
1300 *OK                                ' 繼続の判定
1310 CLS : LOCATE 20, 14
1320 PRINT"継続しますか？ YES … (RETURN) NO … (N or n)"
1330 TYN$=INKEY$ : IF TYN$="" THEN GOTO 1330
1340 LOCATE 8, 14
1350 PRINT "
1360 IF TYN$=CHR$(13) THEN CHFLAG=1 : GOTO 110
1370 IF TYN$ ="Y" OR TYN$="y" THEN CHFLAG=1: GOTO 110
1380 IF TYN$ ="N" OR TYN$="n" THEN GOTO 620
1390 RETURN
1400 *RCOU                                ' READ No. の表示
1410 LOCATE 48, 11
1420 PRINT "READ No. =";JI
1430 COLOR 7
1440 RETURN
1450 *CAL                                ' 最小二乗法による拡散係数の計算
1460 LOCATE 8, 8 :COLOR 6
1470 INPUT "定常になった番号を入力しなさい ";Z ' 計算範囲の入力
1480 LOCATE 8, 9
1490 INPUT "定常状態の範囲を入力しなさい ";P
1500 TX=0:TY=0:TXY=0:TX2=0 :A=0:B=0:D=0:V=0:COLOR 7
1510 U=Z+P
1520 FOR W=Z TO U                         ' 計算範囲のデータの読み込み
```

拡散係数算定の計算プログラム（第6/7頁）

```

1530 X=TT(W)-0          '配列変数の読み込み
1540 Y=QLT(W)           '配列変数の読み込み
1550 TX=TX+X
1560 TY=TY+Y
1570 TXY=TXY+X*Y
1580 TX2=TX2+X*X
1590 NEXT W
1600 XM=0 : YM=0 : VX=0 : VY=0 : R=0 : CC=0      '変数の初期化
1610 XM=TX/(P+1):YM=TY/(P+1)
1620 P=P+1
1630 B=(TX*TY-P*TXY)/(TX*TX-P*TX2)
1640 A=(TY-B*TX)/P :P=P-1
1650 IF B>0 THEN S$= "+" ELSE S$=""
1660 LOCATE 8,15
1670 PRINT "Y=";A;S$;B;"X"                      '正負の判定
1680 V=-1*INT(A/B)
1690 LOCATE 8,16
1700 PRINT "時間軸交点=";V                      '時間軸交点の表示
1710 D=37*37/V/3 :D=ABS(D)
1720 LOCATE 8,17
1730 PRINT "拡散係数 =";D                      '拡散係数の表示
1740 W=W-(P+1)
1750 FOR W=Z TO U                                '相関係数の計算
1760 R=R+(TT(W)-XM)*(QLT(W)-YM)
1770 VX=VX+(TT(W)-XM)^2
1780 VY=VY+(QLT(W)-YM)^2
1790 NEXT W
1800 CC=R/SQR(VX*VY)
1810 LOCATE 8,18
1820 PRINT "相関係数 =";CC                      '相関係数の表示
1830 W=W-(P+1)

```

拡散係数算定の計算プログラム（第7/7頁）

```
1840 IF W>(E-P) THEN GOTO 1870      ' 計算範囲の判定
1850 PRINT #3, W ,V ,D ,CC
1855 LPRINT "W=";W, "V=";V, "D=";D, "A=";A, "B=";B  ' 結果の出力
1860 Z=Z+10 :GOTO 1500
1870 RETURN
```

付表1-1 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI001	CsI002	CsI003	CsI004
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	609.4	608.2	609.1	609.4
〃 ⑬ °C	334.6	334.5	334.3	334.6
流出口 ⑩ °C	567.2	566.0	567.0	567.2
〃 ⑭ °C	374.3	374.3	373.8	374.3
弁体上 ⑪ °C	401.4	432.1	432.7	401.4
弁体下 ⑧ °C	633.3	632.1	632.9	633.0
カラム ⑦ °C	643.6	642.3	643.2	643.1
〃 ⑥ °C	646.0	645.1	645.4	645.3
〃 ⑤ °C	636.9	636.0	636.3	636.1
〃 ④ °C	635.8	635.0	635.6	635.5
〃 ③ °C	636.9	636.5	637.5	637.0
〃 ② °C	633.5	632.9	633.8	633.7
液面 ① °C	630.5	630.0	631.3	631.1
加熱炉上部 °C	634	633	634	634
〃 中部 °C	607	606	606	606
〃 下部 °C	616	616	617	617
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	530	530	530	530
〃 導管 °C	650.6	650.1	651.1	650.2
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	40	32	31	26
センサー出力定常値 nA	446	449	450	477
出力積分値 mA	2.40	2.42	2.46	2.58
拡散係数 cm ² /s	0.47	0.49	0.46	0.54

付表1-2 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI005	CsI006	CsI007	CsI008
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	624.0	623.2	623.3	622.6
〃 ⑬ °C	345.7	342.1	342.0	341.8
流出口 ⑩ °C	581.1	580.0	580.6	579.7
〃 ⑭ °C	381.8	382.1	382.2	381.6
弁体上 ⑪ °C	443.5	442.5	443.8	441.7
弁体下 ⑧ °C	648.5	647.8	647.9	647.0
カラム ⑦ °C	659.3	658.4	658.0	657.4
〃 ⑥ °C	660.9	660.3	660.4	659.1
〃 ⑤ °C	651.3	651.4	651.1	650.0
〃 ④ °C	650.5	650.6	650.8	649.9
〃 ③ °C	652.8	652.6	652.4	650.8
〃 ② °C	648.9	649.0	648.8	647.4
液面 ① °C	646.6	646.6	646.2	644.9
加熱炉上部 °C	649	648	648	647
〃 中部 °C	621	621	621	620
〃 下部 °C	632	632	632	631
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	539	542	542	542
〃 導管 °C	663.0	650.1	665.1	650.2
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	118	102	93	134
センサー出力定常値 nA	653	525	530	500
出力積分値 mA	3.14	2.20	2.45	2.16
拡散係数 cm ² /s	0.45	0.45	0.59	0.46

付表1-3 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI009	CsI010	CsI011	CsI012
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	623.8	623.8	624.1	623.7
〃 ⑬ °C	340.4	340.8	341.0	341.6
流出口 ⑩ °C	579.9	579.2	580.2	580.2
〃 ⑭ °C	381.1	381.1	381.1	381.8
弁体上 ⑪ °C	437.8	440.8	441.3	441.8
弁体下 ⑧ °C	647.95	647.4	648.1	647.7
カラム ⑦ °C	659.3	657.9	658.3	658.0
〃 ⑥ °C	660.5	660.0	660.3	660.0
〃 ⑤ °C	651.0	650.8	651.4	650.8
〃 ④ °C	650.3	649.8	650.1	650.1
〃 ③ °C	652.3	651.8	651.8	652.1
〃 ② °C	649.0	648.2	648.3	648.5
液面 ① °C	646.4	646.1	646.1	645.8
加熱炉上部 °C	649	648	648	648
〃 中部 °C	621	621	621	621
〃 下部 °C	632	632	632	632
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	542	542	542	542
〃 導管 °C	665.0	664.8	664.91	664.4
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	85	27	30	37
センサー出力定常値 nA	500	518	500	519
出力積分値 mA	2.40	2.74	2.69	2.69
拡散係数 cm ² /s	0.51	0.64	0.56	0.55

付表1-4 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI013	CsI014	CsI015	CsI016
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	637.4	638.1	638.3	637.5
〃 ⑬ °C	347.0	347.4	346.4	346.9
流出口 ⑩ °C	593.5	594.1	594.1	593.5
〃 ⑭ °C	390.2	390.8	389.4	390.1
弁体上 ⑪ °C	453.0	453.1	452.8	453.0
弁体下 ⑧ °C	662.4	662.8	663.3	662.4
カラム ⑦ °C	673.2	672.9	673.4	672.8
〃 ⑥ °C	675.4	675.1	675.5	674.6
〃 ⑤ °C	666.4	666.6	666.8	666.1
〃 ④ °C	666.1	665.6	665.9	665.1
〃 ③ °C	667.3	667.3	667.2	666.9
〃 ② °C	663.8	663.4	663.7	663.0
液面 ① °C	661.5	660.8	661.6	660.8
加熱炉上部 °C	662	662	662	662
〃 中部 °C	637	637	637	637
〃 下部 °C	647	647	647	634
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	554	554	554	554
〃 導管 °C	679.4	679.2	679.31	679.7
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサー-BG出力 nA	26	38	43	84
センサー出力定常値 nA	645	666	664	683
出力積分値 mA	3.45	3.38	3.38	3.26
拡散係数 cm ² /s	0.67	0.79	0.73	0.70

付表1-5 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI017	CsI018	CsI019	CsI020
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	638.3	652.0	652.7	652.1
〃 ⑬ °C	347.4	354.9	354.8	352.9
流出口 ⑩ °C	593.7	607.1	607.7	607.3
〃 ⑭ °C	389.6	398.3	398.9	397.9
弁体上 ⑪ °C	453.5	464.0	464.1	463.9
弁体下 ⑧ °C	663.3	677.2	677.6	677.3
カラム ⑦ °C	673.2	687.6	687.9	687.4
〃 ⑥ °C	675.0	689.2	689.5	689.2
〃 ⑤ °C	666.5	681.2	681.6	681.1
〃 ④ °C	665.5	680.2	680.7	680.2
〃 ③ °C	667.0	681.8	682.4	681.7
〃 ② °C	663.3	678.1	678.0	678.0
液面 ① °C	661.1	675.6	676.2	675.5
加熱炉上部 °C	662	676	676	676
〃 中部 °C	637	652	652	652
〃 下部 °C	647	662	662	662
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	554	567	567	567
〃 導管 °C	680.5	695.6	695.3	695.51
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	30	58	53	33
センサー出力定常値 nA	636	810	880	650
出力積分値 mA	3.34	4.29	4.26	3.32
拡散係数 cm ² /s	0.65	0.72	0.91	0.69

付表1-6 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI021	CsI022	CsI023	CsI024
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	652.3	652.2	652.3	668.5
〃 ⑬ °C	352.5	351.7	353.4	358.5
流出口 ⑩ °C	607.7	607.3	607.3	622.3
〃 ⑭ °C	398.3	396.7	397.9	407.0
弁体上 ⑪ °C	464.0	463.8	464.4	477.9
弁体下 ⑧ °C	677.7	677.6	677.6	694.0
カラム ⑦ °C	687.8	687.3	687.4	703.5
〃 ⑥ °C	689.9	689.1	689.2	704.4
〃 ⑤ °C	681.2	680.9	680.9	695.7
〃 ④ °C	680.5	680.1	679.6	694.9
〃 ③ °C	681.9	681.5	681.4	697.0
〃 ② °C	678.5	677.6	677.5	693.3
液面 ① °C	676.3	675.5	675.5	691.3
加熱炉上部 °C	676	676	676	692
〃 中部 °C	652	652	652	666
〃 下部 °C	662	662	662	678
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	567	567	567	580
〃 導管 °C	695.6	694.8	693.71	710.9
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	41	44	81	68
センサー出力定常値 nA	670	670	706	740
出力積分値 mA	3.43	3.41	3.31	3.71
拡散係数 cm ² /s	0.72	0.78	0.92	0.76

付表1-7 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI025	CsI026	CsI027	CsI028
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	668.1	667.9	668.0	668.9
〃 ⑬ °C	357.1	357.0	357.9	366.7
流出口 ⑩ °C	622.2	622.7	622.1	622.5
〃 ⑭ °C	406.8	406.1	406.4	405.9
弁体上 ⑪ °C	476.4	477.9	476.5	477.6
弁体下 ⑧ °C	693.6	693.8	693.5	693.8
カラム ⑦ °C	703.2	703.3	703.0	703.6
〃 ⑥ °C	703.9	704.2	703.8	704.5
〃 ⑤ °C	695.2	695.2	695.0	695.8
〃 ④ °C	694.5	694.5	694.1	695.1
〃 ③ °C	696.6	696.8	696.5	697.3
〃 ② °C	693.0	693.1	693.2	693.1
液面 ① °C	691.0	691.0	691.2	691.6
加熱炉上部 °C	692	692	692	692
〃 中部 °C	666	666	666	666
〃 下部 °C	678	678	678	678
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	580	580	580	580
〃 導管 °C	710.5	710.4	710.4	710.1
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	78	66	60	65
センサー出力定常値 nA	800	803	800	1020
出力積分値 mA	3.74	3.88	3.91	5.10
拡散係数 cm ² /s	1.02	0.98	1.07	0.89

付表1-8 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI029	CsI030	CsI031	CsI032
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	668.2	610.0	608.6	609.6
" ⑬ °C	366.9	334.7	333.9	335.2
流出口 ⑩ °C	622.1	566.3	565.1	565.5
" ⑭ °C	406.2	369.6	369.3	369.4
弁体上 ⑪ °C	477.8	432.2	430.5	432.0
弁体下 ⑧ °C	693.4	633.6	632.3	633.4
カラム ⑦ °C	703.3	643.2	642.6	643.2
" ⑥ °C	704.0	644.6	644.4	644.3
" ⑤ °C	695.2	635.7	635.7	635.5
" ④ °C	694.3	634.4	634.8	634.3
" ③ °C	696.3	636.9	636.3	636.7
" ② °C	692.9	632.8	632.3	632.6
液面 ① °C	690.8	630.7	630.3	630.4
加熱炉上部 °C	692	631	631	632
" 中部 °C	666	605	606	605
" 下部 °C	678	616	616	616
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	580	530	530	530
" 導管 °C	710.8	653.9	650.3	649.01
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.5	3.5	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	97	32	17	22
センサー出力定常値 nA	1235		322	310
出力積分値 mA		1.86	1.73	1.69
拡散係数 cm ² /s	1.14	0.49	0.53	0.47

付表1-9 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI033	CsI034	CsI035	CsI036
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	609.6	609.8	609.8	608.8
〃 ⑬ °C	335.3	334.5	335.6	327.7
流出口 ⑩ °C	565.4	655.3	565.6	565.2
〃 ⑭ °C	369.5	368.8	369.7	368.6
弁体上 ⑪ °C	431.5	431.4	432.4	436.2
弁体下 ⑧ °C	633.3	633.3	633.4	633.5
カラム ⑦ °C	642.8	643.1	643.0	642.7
〃 ⑥ °C	644.2	644.4	644.3	644.3
〃 ⑤ °C	635.3	635.5	635.5	635.2
〃 ④ °C	634.0	634.2	634.4	634.1
〃 ③ °C	636.0	636.2	636.3	636.5
〃 ② °C	632.2	632.5	632.7	632.6
液面 ① °C	630.3	630.6	630.8	630.7
加熱炉上部 °C	632	632	632	632
〃 中部 °C	605	605	605	605
〃 下部 °C	616	616	616	616
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	530	530	530	530
〃 導管 °C	648.3	649.9	648.7	649.4
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	4.0	3.2
センサーBG出力 nA	22	22	63	18
センサー出力定常値 nA	315	302	508	
出力積分値 mA	1.65	1.63	2.55	1.43
拡散係数 cm ² /s	0.49	0.49		0.45

付表1-10 Arガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI037	CsI038	CsI039	CsI040
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	609.0	652.8	653.2	625.2
〃 ⑬ °C	329.2	352.3	352.1	343.3
流出口 ⑩ °C	565.5	607.3	607.4	580.1
〃 ⑭ °C	369.8	396.1	396.2	377.7
弁体上 ⑪ °C	432.0	465.7	464.0	444.3
弁体下 ⑧ °C	366.1	678.4	678.8	649.5
カラム ⑦ °C	642.5	687.8	688.2	659.4
〃 ⑥ °C	643.9	689.7	689.9	660.1
〃 ⑤ °C	635.3	681.3	681.5	650.6
〃 ④ °C	634.0	680.1	680.3	648.8
〃 ③ °C	636.0	681.6	682.1	651.3
〃 ② °C	632.2	677.8	678.2	647.2
液面 ① °C	630.6	675.9	676.0	645.3
加熱炉上部 °C	632	676	676	648
〃 中部 °C	605	652	652	620
〃 下部 °C	616	662	662	631
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	530	567	567	542
〃 導管 °C	649.9	694.3	693.8	664.8
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.0	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	44	70	47	24
センサー出力定常値 nA	422	671	660	383
出力積分値 mA	2.20	3.27	3.32	2.10
拡散係数 cm ² /s	0.48	0.62	0.81	0.47

付表2-1 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI042	CsI043	CsI044	CsI045
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	607.7	608.0	607.0	607.5
〃 ⑬ °C	314.1	312.8	312.3	313.0
流出口 ⑩ °C	568.0	568.5	567.3	567.9
〃 ⑭ °C	364.4	364.2	363.6	364.6
弁体上 ⑪ °C	432.1	431.7	431.2	430.3
弁体下 ⑧ °C	634.0	634.0	633.5	633.4
カラム ⑦ °C	643.4	643.5	642.8	642.9
〃 ⑥ °C	644.6	644.5	644.1	644.5
〃 ⑤ °C	635.6	635.7	635.2	635.6
〃 ④ °C	634.3	634.4	634.3	634.5
〃 ③ °C	636.7	636.3	636.0	636.6
〃 ② °C	632.9	632.5	632.3	632.7
液面 ① °C	631.6	630.6	630.4	630.9
加熱炉上部 °C	632	632	632	631
〃 中部 °C	605	605	605	605
〃 下部 °C	616	616	616	616
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	530	530	530	531
〃 導管 °C	650.8	650.3	651.7	652.2
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.3	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	12	12	13	11
測定時間 sec	4965	4965	4967	4967
センサー出力定常値 nA	222	206	204	207
出力積分値 mAs	1.22	1.08	1.09	1.06
拡散係数 cm ² /s	0.45	0.65	0.52	0.55

付表2-2 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI046	CsI047	CsI048	CsI049
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	622.0	621.5	621.7	622.0
〃 ⑬ °C	322.3	322.2	322.1	321.8
流出口 ⑩ °C	581.7	581.4	581.6	581.6
〃 ⑭ °C	372.2	372.6	372.0	372.7
弁体上 ⑪ °C	441.8	441.5	440.9	440.6
弁体下 ⑧ °C	648.7	648.2	648.6	648.7
カラム ⑦ °C	658.4	658.0	658.4	658.3
〃 ⑥ °C	659.9	659.6	659.8	659.8
〃 ⑤ °C	651.3	651.3	651.1	651.2
〃 ④ °C	649.8	649.8	649.8	649.8
〃 ③ °C	651.4	651.1	651.5	651.6
〃 ② °C	648.0	647.5	647.7	647.7
液面 ① °C	645.7	645.1	645.9	645.5
加熱炉上部 °C	646	646	646	646
〃 中部 °C	621	621	621	621
〃 下部 °C	631	631	631	631
酸素捕集管 °C	450	450	450	450
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	542	542	542	542
〃 導管 °C	664.8	665.1	665.3	665.9
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.2	3.2	3.2
センサーBG出力 nA	17	16	19	15
測定時間 sec	4965	4965	4965	4966
センサー出力定常値 nA	653	272	274	282
出力積分値 mAs	1.42	1.40	1.43	1.49
拡散係数 cm ² /s	0.53	0.60	0.53	0.64

付表2-3 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI050	CsI051	CsI052	CsI053
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	636.6	635.9	607.9	607.7
〃 ⑬ °C	338.1	343.1	327.9	320.1
流出口 ⑩ °C	595.4	600.1	572.6	571.7
〃 ⑭ °C	380.3	379.1	359.2	368.5
弁体上 ⑪ °C	454.7	453.7	432.0	431.1
弁体下 ⑧ °C	663.4	663.8	634.5	633.5
カラム ⑦ °C	673.1	673.3	643.5	643.0
〃 ⑥ °C	674.6	674.3	644.8	635.4
〃 ⑤ °C	666.0	666.0	635.9	635.2
〃 ④ °C	664.9	665.1	634.8	634.3
〃 ③ °C	666.9	666.9	637.0	636.3
〃 ② °C	663.2	663.0	633.2	632.5
液面 ① °C	661.5	661.2	631.1	630.4
加熱炉上部 °C	661	661	632	631
〃 中部 °C	636	636	605	605
〃 下部 °C	647	647	616	616
酸素捕集管 °C	450	450	450	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	554	542	530	530
〃 導管 °C	680.0	656.1	616.3	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.2	3.8	3.8	2.5
センサーBG出力 nA	19	37	28	17
測定時間 sec	4965	4966	4965	4967
センサー出力定常値 nA	354	478	292	193
出力積分値 mAs	1.95	2.62	1.49	1.08
拡散係数 cm ² /s	0.46	0.45	0.41	0.38

付表2-4 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI054	CsI055	CsI056	CsI057
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	608.1	607.7	620.6	620.5
" ⑬ °C	322.0	322.2	323.4	323.3
流出口 ⑩ °C	572.1	571.6	588.3	587.8
" ⑭ °C	369.1	369.1	363.7	363.3
弁体上 ⑪ °C	437.7	430.7	442.1	442.1
弁体下 ⑧ °C	634.2	633.1	648.3	648.4
カラム ⑦ °C	643.6	642.8	658.1	657.9
" ⑥ °C	644.9	644.3	660.3	660.0
" ⑤ °C	636.2	635.7	651.0	650.6
" ④ °C	635.5	634.6	650.1	649.5
" ③ °C	637.7	636.5	651.5	651.2
" ② °C	634.0	632.4	647.5	647.1
液面 ① °C	631.7	630.3	645.6	645.1
加熱炉上部 °C	631	631	646	646
" 中部 °C	606	606	621	621
" 下部 °C	617	616	631	632
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	530	530	542	542
" 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	2.8	2.8	2.5	2.9
センサーBG出力 nA	22	16	17	23
測定時間 sec	4970	4967	4967	4966
センサー出力定常値 nA	236	244	247	285
出力積分値 mAs	1.30	1.35	1.33	1.50
拡散係数 cm ² /s	0.37	0.44	0.61	0.57

付表2-5 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI058	CsI059	CsI060	CsI061
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	620.7	620.6	621.0	606.5
// ⑬ °C	318.1	325.8	325.6	315.8
流出口 ⑩ °C	588.1	587.9	588.4	573.9
// ⑭ °C	362.9	363.6	364.1	354.1
弁体上 ⑪ °C	441.4	442.0	442.5	430.6
弁体下 ⑧ °C	648.9	648.7	648.8	633.9
カラム ⑦ °C	658.2	658.1	658.1	643.1
// ⑥ °C	660.6	660.4	660.1	645.6
// ⑤ °C	650.7	651.0	651.1	636.3
// ④ °C	650.0	649.6	650.2	635.2
// ③ °C	651.7	651.5	652.3	636.8
// ② °C	647.6	647.6	648.3	632.8
液面 ① °C	646.0	645.6	646.3	631.1
加熱炉上部 °C	646	646	646	631
// 中部 °C	621	621	622	606
// 下部 °C	632	632	633	617
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	542	542	542	530
// 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	3.0	3.5	3.6	3.5
センサーBG出力 nA	11	19	22	17
測定時間 sec	4966	4964	4966	4964
センサー出力定常値 nA	248	289	305	242
出力積分値 mAs	1.43	1.58	1.61	1.35
拡散係数 cm ² /s	0.43	0.46	0.49	0.50

付表2-6 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI062	CsI063	CsI064	CsI065
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	635.0	634.8	635.2	635.4
〃 ⑬ °C	332.1	334.3	333.0	334.1
流出口 ⑩ °C	602.4	602.6	602.9	602.6
〃 ⑭ °C	371.2	372.9	371.4	372.6
弁体上 ⑪ °C	453.9	454.5	453.9	454.1
弁体下 ⑧ °C	663.6	663.6	664.6	663.9
カラム ⑦ °C	673.1	673.0	673.6	672.9
〃 ⑥ °C	675.4	675.5	675.9	675.3
〃 ⑤ °C	666.2	666.1	666.5	666.2
〃 ④ °C	665.3	665.0	665.4	665.0
〃 ③ °C	667.1	666.6	666.7	666.6
〃 ② °C	663.1	662.6	662.4	662.5
液面 ① °C	661.3	660.4	660.6	660.5
加熱炉上部 °C	661	661	661	661
〃 中部 °C	637	637	637	637
〃 下部 °C	648	647	647	647
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	554	554	554	554
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.0	4.4	4.4	4.5
センサーBG出力 nA	43	47	62	62
測定時間 sec	4964	4965	4965	4962
センサー出力定常値 nA	498	584	547	599
出力積分値 mAs	2.60	3.00	2.74	2.96
拡散係数 cm ² /s	0.58	0.62	0.49	0.69

付表2-7 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI125	CsI126	CsI127
設定・測定量			
流入口 ⑨ °C	633.6	633.5	634.1
〃 ⑩ °C	324.9	326.8	325.9
流出口 ⑪ °C	618.9	618.8	619.1
〃 ⑫ °C	371.8	369.9	370.4
弁体上 ⑬ °C	446.3	446.5	446.7
弁体下 ⑭ °C	665.3	665.1	665.5
カラム ⑮ °C	672.4	672.2	672.9
〃 ⑯ °C	673.3	673.4	674.4
〃 ⑰ °C	665.2	665.8	666.6
〃 ⑱ °C	663.3	664.1	664.5
〃 ⑲ °C	661.3	662.4	662.4
〃 ⑳ °C	660.4	661.2	661.5
液面 ① °C	660.6	661.4	661.5
加熱炉上部 °C	667	667	667
〃 中部 °C	639	640	640
〃 下部 °C	645	646	646
酸素捕集管 °C	460	460	460
接続管 °C	400	400	400
予熱炉制御 °C	610	600	600
〃 導管 °C	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400
フィラメント電流 A	4.3	5.0	5.0
センサー-BG出力 nA	8	20	22
測定時間 sec	4967	4968	4965
センサー出力定常値 nA	294	349	359
出力積分値 mAs	1.52	1.77	1.86
拡散係数 cm ² /s	1.00	0.93	0.77

付表2-8 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI128	CsI129	CsI130	CsI131
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	605.3	619.3	619.6	634.4
〃 ⑯ °C	311.0	317.2	317.8	326.5
流出口 ⑩ °C	591.8	605.6	606.1	620.2
〃 ⑭ °C	365.4	372.1	372.5	377.9
弁体上 ⑪ °C	425.0	435.5	435.9	447.3
弁体下 ⑧ °C	636.0	650.5	651.0	666.1
カラム ⑦ °C	642.9	657.9	658.1	673.4
〃 ⑥ °C	643.8	659.1	659.0	674.3
〃 ⑤ °C	635.3	651.1	651.2	666.1
〃 ④ °C	633.5	648.9	649.0	664.4
〃 ③ °C	631.8	646.7	647.0	662.5
〃 ② °C	631.0	645.7	645.8	661.6
液面 ① °C	630.7	645.9	645.8	661.5
加熱炉上部 °C	638	652	652	667
〃 中部 °C	609	625	625	640
〃 下部 °C	615	630	630	646
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	600	610	610	610
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.19	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	5.0	4.9	4.9	5.0
センサーBG出力 nA	8	16	17	12
測定時間 sec	4972	4968	4967	4966
センサー出力定常値 nA	128	296	289	328
出力積分値 mAs	1.30	1.58	1.52	1.73
拡散係数 cm ² /s	0.42	0.56	0.57	0.67

付表2-9 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI132	CsI133	CsI134	CsI135
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	634.1	634.2	649.1	649.0
// ⑬ °C	324.8	326.8	331.6	332.0
流出口 ⑩ °C	619.5	619.7	634.5	635.1
// ⑭ °C	374.0	375.6	388.2	395.3
弁体上 ⑪ °C	448.1	448.7	460.0	460.2
弁体下 ⑧ °C	666.1	666.1	681.5	681.3
カラム ⑦ °C	672.9	672.6	688.3	688.6
// ⑥ °C	673.6	673.4	688.8	688.5
// ⑤ °C	665.3	665.5	680.8	680.9
// ④ °C	663.7	664.0	678.3	679.1
// ③ °C	661.7	662.0	676.1	676.9
// ② °C	661.0	660.9	675.1	676.0
液面 ① °C	661.8	661.1	675.2	676.2
加熱炉上部 °C	667	667	682	682
// 中部 °C	640	640	656	656
// 下部 °C	646	646	660	661
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	600	600	628	650
// 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.19	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	5.0	5.0	5.0	5.0
センサーBG出力 nA	22	20	11	23
測定時間 sec	4966	4966	4969	4968
センサー出力定常値 nA	326	339	339	339
出力積分値 mAs	1.68	1.74	1.75	1.70
拡散係数 cm ² /s	0.66	0.89	0.79	0.85

付表2-10 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI136	CsI137	CsI138	CsI139
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	649.5	649.1	664.2	664.4
〃 ⑬ °C	326.8	327.2	343.3	343.7
流出口 ⑩ °C	635.7	635.6	650.1	650.3
〃 ⑭ °C	401.6	402.2	409.9	410.2
弁体上 ⑪ °C	459.9	460.5	471.5	472.3
弁体下 ⑧ °C	682.2	681.8	697.0	697.0
カラム ⑦ °C	688.6	688.6	703.5	703.4
〃 ⑥ °C	688.3	688.7	702.7	702.7
〃 ⑤ °C	680.5	680.9	694.8	694.7
〃 ④ °C	678.6	678.9	692.8	692.8
〃 ③ °C	676.8	676.6	691.0	691.3
〃 ② °C	675.9	675.7	690.2	690.1
液面 ① °C	676.0	676.0	690.3	690.6
加熱炉上部 °C	682	682	697	697
〃 中部 °C	656	656	670	670
〃 下部 °C	661	661	676	676
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	670	670	680	680
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	5.0	5.0	4.9	5.0
センサ-BG出力 nA	18	23	13	27
測定時間 sec	4975	4966	4969	4967
センサー出力定常値 nA	210	344	410	415
出力積分値 mAs	1.89	1.73	2.15	2.08
拡散係数 cm ² /s	0.93	0.89	0.80	1.07

付表2-11 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI140	CsI141	CsI142	CsI143
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	663.3	663.5	663.5	605.5
〃 ⑬ °C	334.3	330.7	331.5	301.1
流出口 ⑩ °C	649.8	650.0	649.9	592.0
〃 ⑭ °C	409.1	408.4	409.0	364.6
弁体上 ⑪ °C	471.4	470.3	470.6	425.5
弁体下 ⑧ °C	696.7	696.8	696.0	636.5
カラム ⑦ °C	703.1	703.6	703.6	643.1
〃 ⑥ °C	703.1	703.8	703.6	643.3
〃 ⑤ °C	695.7	696.1	696.1	634.6
〃 ④ °C	693.6	694.3	694.2	632.9
〃 ③ °C	691.9	692.9	692.7	632.1
〃 ② °C	690.7	691.9	691.6	630.7
液面 ① °C	690.7	691.8	691.5	630.6
加熱炉上部 °C	696	696	696	637
〃 中部 °C	671	671	671	608
〃 下部 °C	677	677	677	615
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	680	680	680	600
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 NL/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.19	0.20	0.21	0.19
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	2.3	2.3	2.3	2.3
センサーBG出力 nA	15	16	29	15
測定時間 sec	4976	4976	4968	4974
センサー出力定常値 nA	405	372	364	209
出力積分値 mAs	2.11	2.05	1.89	1.12
拡散係数 cm ² /s	0.69	0.57	0.55	0.49

付表2-12 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI144	CsI145	CsI146	CsI147
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	605.4	635.0	633.7	619.6
〃 ⑬ °C	301.9	317.0	317.5	310.8
流出口 ⑩ °C	591.8	621.1	619.9	606.3
〃 ⑭ °C	365.1	377.4	377.8	370.7
弁体上 ⑪ °C	425.7	440.8	448.9	436.0
弁体下 ⑧ °C	636.3	667.5	666.0	651.5
カラム ⑦ °C	643.2	673.8	672.6	658.1
〃 ⑥ °C	644.1	674.2	673.3	658.8
〃 ⑤ °C	635.9	666.0	665.4	650.1
〃 ④ °C	634.0	664.2	663.6	647.2
〃 ③ °C	632.3	662.1	662.0	644.7
〃 ② °C	630.2	661.2	661.1	643.6
液面 ① °C	630.8	661.0	661.3	643.2
加熱炉上部 °C	637	667	666	652
〃 中部 °C	610	640	640	625
〃 下部 °C	615	646	646	630
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	600	610	610	610
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.21	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	2.3	2.3	2.3	2.3
センサーBG出力 nA	10	22	19	8
測定時間 sec	4971	4967	4967	4970
センサー出力定常値 nA	218	303	292	240
出力積分値 mAs	1.18	1.62	1.58	1.30
拡散係数 cm ² /s	0.55	0.54	0.53	0.59

付表2-13 Krガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI148	CsI149	CsI150
設定・測定量			
流入口 ⑨ °C	620.7	649.1	649.2
〃 ⑬ °C	313.2	333.7	335.1
流出口 ⑩ °C	607.3	635.5	635.3
〃 ⑭ °C	372.8	394.2	395.3
弁体上 ⑪ °C	438.2	466.6	459.5
弁体下 ⑧ °C	652.6	682.5	681.5
カラム ⑦ °C	659.5	688.9	688.2
〃 ⑥ °C	660.0	688.6	688.1
〃 ⑤ °C	651.3	680.8	681.1
〃 ④ °C	649.2	678.6	679.4
〃 ③ °C	647.0	677.2	677.2
〃 ② °C	645.9	675.9	676.2
液面 ① °C	646.1	676.1	676.1
加熱炉上部 °C	652	672	681
〃 中部 °C	625	656	656
〃 下部 °C	630	661	661
酸素捕集管 °C	460	460	460
接続管 °C	400	400	400
予熱炉制御 °C	610	650	650
〃 導管 °C	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.19	0.20
印加電圧 V	400	400	400
フィラメント電流 A	2.3	2.3	2.3
センサーBG出力 nA	12	13	28
測定時間 sec	4972	4971	4968
センサー出力定常値 nA	246	438	457
出力積分値 mAs	1.31	2.34	2.39
拡散係数 cm ² /s	0.61	0.68	0.67

付表3-1 Xeガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI102	CsI103	CsI104	CsI105
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	604.6	604.8	605.2	618.7
" ⑬ °C	302.0	302.5	301.8	312.0
流出口 ⑩ °C	591.0	591.2	591.2	605.2
" ⑭ °C	340.6	341.0	339.9	347.6
弁体上 ⑪ °C	422.2	422.8	422.9	434.0
弁体下 ⑧ °C	634.4	634.5	635.2	650.0
カラム ⑦ °C	642.3	642.3	642.4	657.7
" ⑥ °C	644.4	643.9	644.4	659.6
" ⑤ °C	634.8	634.4	634.8	650.9
" ④ °C	633.2	632.8	633.0	648.6
" ③ °C	631.1	631.0	631.2	646.3
" ② °C	630.2	630.3	630.3	645.3
液面 ① °C	630.9	630.8	630.5	645.9
加熱炉上部 °C	642	642	642	656
" 中部 °C	608	608	608	625
" 下部 °C	615	616	616	631
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	530	530	530	542
" 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.17
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.5	4.5	4.5	4.2
センサーBG出力 nA	7	7	8	4
測定時間 sec	4967	5082	4966	4968
センサー出力定常値 nA	100	108	119	141
出力積分値 mAs	0.54	0.57	0.61	0.73
拡散係数 cm ² /s	0.58	0.59	0.75	0.93

付表3-2 Xeガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI106	CsI107	CsI108	CsI109
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	619.3	618.2	618.4	617.8
〃 ⑬ °C	312.9	310.8	303.4	301.4
流出口 ⑩ °C	605.7	604.4	604.8	604.2
〃 ⑭ °C	348.0	349.1	347.3	347.8
弁体上 ⑪ °C	434.7	432.7	433.4	432.8
弁体下 ⑧ °C	650.3	649.6	650.0	649.3
カラム ⑦ °C	658.2	647.6	657.8	657.2
〃 ⑥ °C	660.3	659.6	659.5	659.1
〃 ⑤ °C	651.0	651.6	650.4	650.4
〃 ④ °C	649.1	649.8	648.7	648.6
〃 ③ °C	646.9	647.1	646.2	646.5
〃 ② °C	646.1	646.5	645.6	645.5
液面 ① °C	646.6	646.8	646.2	645.8
加熱炉上部 °C	656	654	655	655
〃 中部 °C	625	625	624	624
〃 下部 °C	631	631	630	630
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	542	551	542	543
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.17	0.16	0.20	0.16
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.2	4.2	4.5	4.5
センサー-BG出力 nA	7	8	12	12
測定時間 sec	4966	4966	4967	4968
センサー出力定常値 nA	160	170	178	181
出力積分値 mAs	0.78	0.83	0.91	0.94
拡散係数 cm ² /s	1.39	1.37	0.67	0.61

付表3-3 Xeガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI110	CsI111	CsI112	CsI113
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	618.4	633.0	632.7	633.1
// ⑬ °C	302.1	311.9	312.1	311.4
流出口 ⑩ °C	605.2	619.1	618.7	619.2
// ⑭ °C	348.4	354.5	354.9	354.5
弁体上 ⑪ °C	433.8	444.4	444.2	445.1
弁体下 ⑧ °C	650.2	665.0	665.0	665.6
カラム ⑦ °C	658.2	672.8	673.0	673.1
// ⑥ °C	659.4	673.9	674.2	674.4
// ⑤ °C	650.6	665.0	665.6	665.6
// ④ °C	648.8	663.6	663.5	663.8
// ③ °C	646.6	661.7	661.6	661.7
// ② °C	645.6	660.5	660.4	660.7
液面 ① °C	646.1	661.1	660.7	660.8
加熱炉上部 °C	655	669	669	669
// 中部 °C	624	638	639	639
// 下部 °C	630	645	645	645
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	549	554	554	554
// 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.14	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.5	4.5	4.5	4.5
センサーBG出力 nA	12	9	13	13
測定時間 sec	4967	4967	4966	4967
センサー出力定常値 nA	190	200	11	192
出力積分値 mAs	0.96	1.05	1.08	1.02
拡散係数 cm ² /s	0.71	0.75	0.76	0.62

付表3-4 Xeガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI114	CsI115	CsI116	CsI117
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	646.8	646.8	604.7	604.9
〃 ⑯ °C	317.2	318.6	301.2	301.8
流出口 ⑩ °C	633.2	633.1	590.1	591.2
〃 ⑭ °C	363.0	364.1	339.3	340.0
弁体上 ⑪ °C	456.2	456.8	425.0	424.9
弁体下 ⑧ °C	680.2	680.2	636.0	636.0
カラム ⑦ °C	687.9	687.5	643.2	643.6
〃 ⑥ °C	689.2	688.9	644.5	644.8
〃 ⑤ °C	681.2	680.7	635.6	635.7
〃 ④ °C	679.4	679.1	633.6	633.8
〃 ③ °C	677.2	676.8	631.5	631.9
〃 ② °C	676.5	676.2	630.5	631.3
液面 ① °C	676.6	676.6	630.7	631.4
加熱炉上部 °C	683	683	640	640
〃 中部 °C	655	655	609	609
〃 下部 °C	661	661	615	615
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	568	568	530	530
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.17	0.20	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.5	4.5	4.5	4.5
センサーBG出力 nA	9	17	5	8
測定時間 sec	4969	4970	4966	4967
センサー出力定常値 nA	221	217	148	160
出力積分値 mAs	1.22	1.15	0.77	0.82
拡散係数 cm ² /s	0.55	0.52	0.92	0.83

付表3-5 Xeガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI118	CsI119	CsI120	CsI121
設定・測定量				
流入口 ⑨ °C	647.2	647.1	647.3	662.0
〃 ⑬ °C	322.7	318.6	318.4	343.8
流出口 ⑩ °C	633.1	634.9	634.8	650.2
〃 ⑭ °C	364.1	380.7	381.4	406.9
弁体上 ⑪ °C	457.1	457.5	457.6	468.7
弁体下 ⑧ °C	680.0	680.9	680.7	696.1
カラム ⑦ °C	687.4	688.2	688.2	703.2
〃 ⑥ °C	688.1	688.3	688.3	703.3
〃 ⑤ °C	680.1	680.2	679.8	695.7
〃 ④ °C	677.9	678.1	678.3	693.7
〃 ③ °C	675.3	676.1	676.1	691.6
〃 ② °C	675.1	675.2	675.2	690.6
液面 ① °C	675.5	675.7	675.5	690.8
加熱炉上部 °C	683	683	683	697
〃 中部 °C	654	654	654	670
〃 下部 °C	660	660	660	676
酸素捕集管 °C	460	460	460	460
接続管 °C	400	400	400	400
予熱炉制御 °C	568	628	628	680
〃 導管 °C	---	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.20	0.20	0.20	0.21
印加電圧 V	400	400	400	400
フィラメント電流 A	4.5	4.5	4.5	4.5
センサーBG出力 nA	16	7	14	8
測定時間 sec	4969	4967	4968	4967
センサー出力定常値 nA	217	183	197	270
出力積分値 mAs	1.13	0.99	0.98	1.42
拡散係数 cm ² /s	0.52	0.65	0.71	0.71

付表3-6 Xeガス中CsI拡散係数の測定条件と結果

実験 No.	CsI122	CsI123	CsI124
設定・測定量			
流入口 ⑨ °C	662.5	604.9	604.7
" ⑬ °C	344.8	318.1	317.6
流出口 ⑩ °C	650.7	592.7	592.3
" ⑭ °C	407.3	363.5	363.0
弁体上 ⑪ °C	469.7	424.8	424.7
弁体下 ⑧ °C	696.3	635.9	635.9
カラム ⑦ °C	703.5	643.1	643.2
" ⑥ °C	703.2	644.2	644.1
" ⑤ °C	695.6	635.7	635.9
" ④ °C	693.8	633.7	634.1
" ③ °C	691.5	632.1	632.2
" ② °C	690.6	631.3	631.5
液面 ① °C	690.8	631.5	631.2
加熱炉上部 °C	697	638	638
" 中部 °C	670	609	609
" 下部 °C	676	615	615
酸素捕集管 °C	460	460	460
接続管 °C	400	400	400
予熱炉制御 °C	680	600	600
" 導管 °C	---	---	---
ガス流量 Nl/min	2.3	2.3	2.3
循環系圧力 kgf/cm ²	0.21	0.20	0.20
印加電圧 V	400	400	400
フィラメント電流 A	4.5	4.5	4.6
センサーBG出力 nA	19	6	8
測定時間 sec	4968	4967	4967
センサー出力定常値 nA	276	160	157
出力積分値 mAs	1.41	0.84	0.82
拡散係数 cm ² /s	0.79	0.78	0.75