

JIER-24

光源システム関連情報研究調査委員会

報 告 書

平成5年3月

社団法人 照 明 学 会

この報告書は、光源システム関連情報研究調査委員会が、平成2年10月から平成5年3月までの約2年6ヶ月の間、研究調査した内容をまとめたものである。

平成5年3月

社団法人 照明学会
光源システム関連情報研究調査委員会
委員長 大谷 義彦

目 次

1. ま え が き 1-1

2. 委員会構成ならびに委員会活動の経過 2-1

3. 封入材料に関するデータ(実事) 3-1~3-31

4. 管壁材料に関するデータ 4-1~4-78

5. 電極材料に関するデータ 5-1~5-13

6. 点灯回路に関する文献情報 6-1~6-28

7. あとがき 7-1

付 録

1. ま え が き

近年における光の発生・関連システムに関する学術技術の進歩は著しく、開発研究のスピードは益々速くなってきている。このような時に、研究者や技術者にとって必要な「事実」や「関連データ」をタイムリーに素早く得ることができれば、研究開発の時間的、質的な向上が期待でき、学術の発展に寄与するものと考えられる。

そこで、光の発生・関連システムの研究・開発・設計に従事する研究者、技術者、学生等の学会員が利用できる光源システム関連の「ファクト（事実）データベース」の構築と、その供給方法について調査研究を行なうことを目的として光源システム関連情報研究調査委員会が設立された。

なお、本委員会は故中西宣一郎氏（岡山大学）の提案で設立されたのであるが、発足準備が整わないうちに同氏が急逝されたので、光の発生・関連システム研究専門部会（浦山隆委員長）の要請により、大谷（日本大学）が代わって取り纏めることになった。

前述の目的から考えて、光源システム関連全般のデータベース化が最も望ましいのではあるが、これらは非常に広範囲であるので、定められた期間だけでの完成は無理と判断した。そこで、種々検討の結果、①封入材料、②管壁材料、③電極材料、④文献情報（点灯回路関係）の4項目を取り上げ、それぞれに対してワーキンググループを編成して作業を行なった。その結果、各項目毎に数多くのデータや情報が集められ整理されたが、時間不足もあって残念ながらデータベース化には至ることができなかった。しかしながら各項目共、内容的には大変すばらしいものであり、また今後のデータベース化へ向けての貴重な足掛かりになり得るものと思っている。

本報告書を、各位の研究・開発・設計において役立たせていただければ幸いである。

2. 委員会構成ならびに委員会活動の経過

2.1 委員会の構成

委員会の構成は、以下の通りである。(敬称略)

- 委員長 大谷 義彦 (日本大学)
- 幹事 赤塚美津雄 (日立照明)
- 同 石神敏彦 (東芝ライテック)
- 同 明星 稔 (松下電子)
- 同 竜子雅敏 (明石工専)
- 委員 新井公夫 (アイ・ライティング・システム) 平成4年4月まで
- 同 池内 満 (ウシオ電機) 平成3年1月より
- 同 大谷勝也 (オスラムメルコ)
- 同 数永建二 (ウシオ電機) 平成3年1月まで
- 同 小井土 稔 (岩崎電気) 平成3年10月より
- 同 斎藤哲夫 (日本電球工業会)
- 同 竹内啓泰 (松下電工)
- 同 寺山一郎 (アイ・ライティング・システム) 平成4年4月より
- 同 仲矢文則 (東芝ライテック)
- 同 藤田一郎 (同志社大学)
- 同 藤原 実 (岩崎電気) 平成3年10月まで
- 同 三嶋泰雄 (日本照明器具工業会)
- 同 渡辺良男 (神奈川大学)

2.2 ワーキンググループの構成

第4回委員会(平成3年7月24日)以降、下記の4ワーキンググループにより作業を進めた。

(敬称略、*印は班まとめ役)

- ①封入物班 石神*、大谷(删)、竹内、竜子、渡辺
- ②管壁材料班 明星*、池内、藤田
- ③電極物質班 竜子*、大谷(删)、小井土、藤原
- ④文献情報班 赤塚*、新井、竹内、寺山、仲矢

2. 3 委員会活動の経過

委員会活動の概略を年度ごとに記す。

(1)平成2年度

幹事会：3回（8/30、10/30、1/30）発足準備幹事会を含む

委員会：2回（10/30、1/30）

- ・委員会の構成、運営について検討した。
- ・委員会の目的、意義等の確認ならびに今後3年間の活動方針を検討した。
- ・データベースの分類、項目の抽出について検討した。
- ・第一段階として、物性情報と文献情報を中心に始めることとした。
- ・物性情報では、その範囲をH I Dランプと蛍光ランプに限ることとし、各委員よりアンケート方式で項目の候補をあげた後、それらを検討し、整理した。

(2)平成3年度

幹事会：3回（4/16、7/24、1/22）

委員会：4回（4/16、7/24、10/4、1/22）

- ・データ収集の対象項目には、H I Dランプ関係としてナトリウム、電極、石英を、蛍光ランプとして蛍光体、水銀、ソーダガラスを取り上げることとし、各委員で分担した。
- ・データがある程度出揃った段階で、項目の組合せを①封入物、②管壁材料、③電極物質、④文献情報と変更し、それぞれについてワーキンググループを編成して作業をすすめた。
- ・各ワーキンググループごとに、追加資料の収集ならびにデータベース化へ向けての整理方法の検討を行なった。
- ・回路関係の文献情報約1000件をデータベースソフトのd B X Lに入力した。

(3)平成4年度

幹事会：2回（4/23、7/24）

委員会：5回（4/23、7/24、10/29、1/26、3/23）

- ・引き続き、データの収集、整理に努めた。
- ・d B X Lの文献情報をDATA BOXに変換できることを確認した。
- ・J I C S TのデータソースJ O I Sのダウンロードを試行した。
- ・イメージ情報を含んだデータベースに関して、M a cとファイルメーカーP r oにより、試行した。
- ・学会と学会誌への報告書を作成した。
- ・第8回光源物性とその応用研究会（照明学会、応用物理学会共催）へ講演参加するための準備を行なった。

3. 封入材料に関するデータ

1993. 3. 23

光源システム関連情報研究調査委員会

封入材料班

『封入材料』目次

3. 封入材料に関するデータ	
3. 1 封入材料の範囲	p. 1
3. 2 データの種類	p. 1
3. 3 封入材料データ集	p. 2
3. 4 データの纏め	p. 2
3. 5 封入材料データ集一覧	p. 3
3. 6 封入材料データ集の説明	P. 4 ~p. 22
3. 7 封入材料データの纏め	
3. 7. 1 物性値	p. 23
3. 7. 2 熱力学データ (1), (2), (3)	p. 24~p. 26
3. 7. 3 蒸気圧 (1), (2)	p. 27~p. 28
3. 7. 4 分光学データ (1), (2), (3)	p. 29~p. 31

3. 封入材料に関するデータ

メタルハライドランプの実用化以来ランプの封入材料は種類が多くなってきた。ランプの研究、開発には封入材料の基礎データが必要であり、封入材料のデータベース化への第一ステップとして次のような手順でデータをまとめた。本報告書での本章の内容は封入材料のデータ集（全20）のデータ記載例を用いた説明とそのデータ集による現在実用化されているランプの封入材料のデータの纏め（表として全9）である。

3.1 封入材料の範囲

封入材料としては点灯中のランプ内の生成物質まで考慮し、また封入材料として可能性のあるものをすべて包含させようとする非常に歴大なものになる。

それで本報告書では現在実用化されているランプ（高圧放電ランプ、低圧放電ランプ、希ガスランプ）の封入材料に限定することにした。将来これをもとにしてさらに種類を拡大していくことが望ましい。

本報告書でデータを纏めた封入材料は次の通りである。

(1) 元素 Na, Hg, Ne, Ar, Kr, Xe, Li, Cs, Th, Fe, Ga,

In, Tl, Sn, Pb, Sc, Nd, Dy, Ho, Tm, I, Br

(2) (1) 項の元素の一価イオン

Na^+ , Hg^+ , Ne^+ , Ar^+ , Kr^+ , Xe^+ , Li^+ , Cs^+ ,

Th^+ , Fe^+ , Ga^+ , In^+ , Tl^+ , Sn^+ , Pb^+ , Sc^+ ,

Nd^+ , Dy^+ , Ho^+ , Tm^+ , I^- , Br^-

(3) 金属ハロゲン化物

LiI , CsI , ThI_4 , FeI_2 , GaI_2 , InI , TlI ,

SnI_2 , PbI_2 , ScI_3 , NdI , DyI_3 , HoI_3 , HgI_2 ,

I_2 , SnBr_2 , DyBr_3 , HoBr_3 , TmBr_3 ,

HgBr_2 , Br_2

3.2 データの種類

本報告書で纏めるデータはランプの研究、開発（シミュレーションを含む）に有用なデータとし次の分類をした。

(1) 物性、総合、その他

(2) 熱力学データ——ランプ内の化学反応現象に関連する。

(3) 蒸気圧

(4) 分光データ——ランプの発光特性などに関連する。

3. 3 封入材料データ集

3. 1の封入材料に対して3. 2のデータを纏めるために刊行されているデータ集を委員が分担して調査した。このようにして20のデータ集をリストアップした。

3頁にデータ集の一覧を示す。本章の前半ではこの20のデータ集について1つのデータ集に1頁を使って内容の説明とデータの記載例を示した。

なおデータ集A-9はデータ集A-10と同一形式であるので説明は省略した。

3. 4 データの纏め

3. 1に示す封入材料に対して3. 2に関するデータを纏めた。

物性—元素についての物性のまとめ(表1)

熱力学データ—元素, 金属ハロゲン化物についての熱力学

データの纏め(表2~表4)

蒸気圧—元素, 金属ハロゲン化物についての蒸気圧データの纏め(表5~表6)

分光光学データ—元素, 一価イオンについての分光光学データの纏め(表7~表9)

表の纏め方は封入材料とデータ種の組み合わせにおいて数値, 式が入られるものは各欄に数値, 式を記入した。単純には数値が入られないもの(たとえば温度ごとの熱伝導率など)は各欄にデータ集の番号を記入した。データの詳細を知りたいときはそのデータ集を参照して頂きたい。またその場合でもなるべく代表的な(たとえば1000Kでの値など)数値を記入するようにした。

担当者らの力不足もありさらに封入材料についてはデータの充実をはかる必要があるが、ランプの研究、開発において本報告書は封入材料のデータの手引きとして役立つものと考えている。さらにこの様なデータに基づいてその次のステップとしては封入材料のデータベース化が期待される。

封入材料データ集一覽

A. 分光学データ

- A-1 Tables of Spectral-Line Intensities Part1-Arranged by Elements(1975)
- A-2 Tables of Spectral-Line Intensities Arranged by Wavelengths(1975)
- A-3 Reference Wavelengths from Atomic Spectra in the Range 15A to 25000A (1974)
- A-4 Experimental Transition Probabilities for Spectral Lines of Seventy Elements (1962)
- A-5 Atomic Transition Probabilities Sodium Through Calcium a Critical Data Compilation (1969)
- A-6 Wavelengths and Transition Probabilities for Atoms and Atomic Ions(1980)
- A-7 C.E.Moor "Atomic Energy Levels" (1949)
- A-8 Atomic Energy Levels & Grotrian Diagrams 1,2 (1975)
- A-9 Atomic Energy Levels-As Derived from the Analyses of Optical Spectra
- A-10 MIT Tables of Wavelengths (1939)
- A-11 Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen(1928)
- A-12 Plasma Spectroscopy(TABLE) (1964)

B. 熱力学データ

- B-1 JANAF Thermochemical Tables (1971)
- B-2 The Chemistry and Miscellaneous Materials (1952)
- B-3 Metallurgical Thermochemistry (1956)

C. 物性、総合、その他

- C-1 Iodide metals and metal iodide(1961)
- C-2 CRC Handbook of Materials Science Volume 1 General Properties(1980)
- C-3 CRC Handbook of Chemistry and Physics (1992)
- C-4 International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology(1928)
- C-5 元素の物理的性質 Mockba(1976)

Intensity and Character	Wavelength in Å	Energy levels in cm ⁻¹	Intensity and Character	Wavelength in Å	Energy levels in cm ⁻¹
25	2425.16	I	25	2675.26	III
110	2438.92	I	200	2708.77	I
260	2442.22	II	110	2717.10	I
1900	2522.72	II	270	2823.07	II
260	2525.92	II	610	2843.03	II
1200	2580.22	II	680	2843.21	II
1100	2582.21	II	110	2846.20	I
40	2671.22	II	2300	2851.30	II
19	2684.22	II	110	2854.22	II
120	2692.22	I	230	2856.24	II
60	2699.11	III	22	2875.26	II
260	2708.77	I	40	2878.22	I
110	2707.92	I	72	2717.10	I
260	2717.22	I	270	2823.07	II
20	2819.24	II	610	2843.03	II

Meggers 他 NBS MONOGRAPH 145 (1975)

下記の各元素（中性原子、イオン）の発光スペクトルおよび遷移エネルギーレベルについて記載されている。

Li, Be, B, C, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U (70元素)

Scandium

Sc, Z=21, M=44.9559, Ratio $\frac{Sc}{Cu} = 0.707$

Sc I Normal state of valence electrons $3d4s^2 \ ^2D_{1/2} = 0$. I.P. = 52920 cm^{-1} .

Sc II Normal state of valence electrons $3d4s \ ^3D_1 = 0$. I.P. = 103240 cm^{-1} .

Sc III Normal state of valence electrons $3d \ ^2D_{1/2} = 0$. I.P. = 199677 cm^{-1} .

References

Wavelengths:

A. Gatterer and J. Junkes, Spektren der Seltenen Erden (Specola Vaticana, Vatican, 1945), below 7000 Å.

G. R. Harrison, Massachusetts Institute of Technology Wavelength Tables (John Wiley & Sons, New York, 1939), above 7000 Å.

The last five lines in the table are observed for the first time on our plates.

Classification:

Sc I and Sc II, H. N. Russell and W. F. Meggers, Sci. Papers NBS 22, 329 (1927)

Molecular Spectra:

ScO, W. F. Meggers, and J. A. Wheeler, J. Research NBS 6, 239 (1931) RP 273.

Strong lines of scandium

Intensity and Character	Wavelength in Å	Spectrum	Energy levels in cm^{-1}	Intensity and Character	Wavelength in Å	Spectrum	Energy levels in cm^{-1}
28000	3613.84	II	178 - 27841	9900	3576.35	II	68 - 28021
23000	3911.81	I	168 - 25725	7700	3580.94	II	0 - 27918
20000	3630.75	II	68 - 27602	6600	3372.15	II	178 - 29824
20000	3907.49	I	0 - 25585	6600	3558.55	II	68 - 28161
20000	4020.40	I	0 - 24866	6600	3645.31	II	178 - 27602
20000	4023.69	I	168 - 25014	6100	3567.70	II	0 - 28021
15000	4246.83	II	2541 - 26081	6100	4082.40	I	168 - 24657
13000	3572.53	II	178 - 28161	5500	3273.63	I	168 - 30707
13000	3642.79	II	0 - 27444	5500	3996.61	I	0 - 25014
9900	3353.73	II	2541 - 32350	5500	4054.55	I	0 - 24657

Scandium—all observed lines

Intensity and Character	Wavelength in Å	Spectrum	Energy levels in cm^{-1}	Intensity and Character	Wavelength in Å	Spectrum	Energy levels in cm^{-1}
65	2429.16	I		4000	3590.48	II	178 - 28021
110	2438.62	I		28000	3613.84	II	178 - 27841
560	2545.22	II	68 - 39345	110	3617.43	I	
2900	2552.37	II	178 - 39345	20000	3630.75	II	68 - 27602
560	2555.82	II	0 - 39114	13000	3642.79	II	0 - 27444
2300	2560.25	II	68 - 39114	6600	3645.31	II	178 - 27602
1100	2563.21	II	0 - 39002	110	3646.90	I	
40	2611.22	II	26081 - 64366	5300	3651.80	II	68 - 27444
19	2684.23	II	39345 - 76588	110	3664.25	II	2541 - 29824
120	2692.78	I	0 - 37126	290	3666.54	II	178 - 27444
60	2699.11	III	25537 - 62576	55	3675.26	II	2541 - 29742
360	2706.77	I	0 - 36934	40	3678.35	II	32350 - 59528
210	2707.95	I	168 - 37086	75	3717.10	I	
580	2711.35	I	168 - 37040	270	3833.07	II	0 - 26081
30	2819.54	II	27918 - 63374	610	3843.03	II	68 - 26081

Meggers他

NBS MONOGRAPHS 145

(1975)

A - 1 に記載されている元素について、発光スペクトルが2000Åから9000Åまで波長順に整理されている。(約39000本)

TABLE 2. All observed lines in order of wavelength

Intensity and Character	Wavelength in Å	Element and Spectrum	Intensity and Character	Wavelength in Å	Element and Spectrum	Intensity and Character	Wavelength in Å	Element and Spectrum
55000	1936.96	As I	5000	2039.77	Sb I	2400	2090.89	Ru I
48000	1953.89	Bi I	40000	2039.85	Se I	5500	2091.58	Sn I
30000	1954.47	Ce I	8000	2040.66	Sn I	1500	2092.16	Mn I
9000	1959.48	Bi I	24000	2041.71	Ce I	4700	2092.41	Re II
90000	1960.26	Se I	16000	2043.77	Ce I	2100	2092.44	V I
20000	1961.36	Ce I	3800	2043.79	Cu II	2200	2092.50	Mo II
32000	1970.23	Ce I	26000	2045.36	Os I	14000	2092.63	Ir I
26000	1970.80	Sn I	17000	2045.98	Mo II	4000	2093.11	Mo II
65000	1971.97	As I	7800	2048.28	Os I	20000	2094.26	Ce I
15000	1983.55	Sn I	27000	2049.08	Re I	6100	2094.75	W II
14000	1987.62	Ce I	5500	2049.37	Pt I	1200	2096.18	Hf II
36000	1989.70	As I	7800	2049.42	Os I	1400	2096.39	Sn I
11000	1990.48	As I	13000	2049.57	Sb I	9800	2097.12	Re I
14000	1994.18	Te I	5300	2049.63	W II	6000	2097.60	Os I
5000	1994.78	As I	6200	2052.22	Ir I	5000	2098.41	Sb I
9700	1995.41	Mn I	7000	2053.27	Pb I	2400	2098.60	W II
42000	1998.24	Ce I	4200	2054.46	Ce I	5300	2100.63	Os I
14000	1998.86	Mn I	19000	2055.52	Cr II	2200	2100.67	W II
5500	1999.69	Cu II	2200	2057.24	Ce I	2700	2100.84	Mo II
9600	2001.45	Os I	8600	2058.69	Os I	1500	2100.93	Sn I
5800	2001.71	W II		2058.78	Os I	1500	2101.54	W I
26000	2002.02	Te I	5000	2060.64	Ir I	1000	2103.33	Pt I
44000	2003.34	As I	14000	2061.49	Cr II	1500	2104.29	Mo II
25000	2003.53	Re I	13000	2061.69	Os I	2400	2105.82	Ce I
13000	2003.73	Os I	44000	2061.70	Bi I	1500	2106.18	W II
18000	2003.85	Mn I	10000	2062.00	Zn II	1400	2108.02	Mo II
9000	2004.78	Os I	11000	2062.79	Se I	2700	2109.22	Re I
13000	2008.07	W II	7500	2065.21	Ce I	2000	2109.42	Nb II
5500	2009.19	As I	8900	2065.42	Cr II	1700	2109.58	Mn I
5100	2009.98	W II	2300	2065.57	W II	4600	2110.26	Bi I
17000	2010.15	Os I	7800	2067.21	Os II	1300	2110.34	W II
4100	2010.23	W II	1500	2067.50	Pt I	650	2112.09	Cu II
9900	2010.65	Ir I	42000	2068.33	Sb I	2700	2112.68	Ir I
11000	2012.00	Au I	26000	2068.66	Ce I	5500	2113.93	Sn I
6200	2012.78	Hf II	4200	2070.67	Os II	2500	2116.67	Yb II
4200	2013.32	As I	3400	2071.21	W II	2100	2117.66	Os I
4100	2014.23	W II	4800	2073.08	Sn I	4800	2117.96	Os I
19000	2015.11	Mo II	4200	2074.70	Re I	1000	2118.48	Sb I
16000	2017.87	Re I	2000	2074.79	Se I	2100	2118.87	W II
29000	2018.14	Os I	2200	2075.59	W II	1800	2119.54	Ir I
17000	2019.07	Ce I	2400	2076.43	Ru I	6600	2119.79	Os I
29000	2020.26	Os I	7200	2076.95	Os I	2400	2119.96	Os I
40000	2020.30	Mo II	7200	2078.09	Os I	1900	2119.96	Os I
10000	2021.21	Bi I	9700	2079.11	W II	2400	2119.96	Os I
2600	2021.38	Au I	14000	2079.97	Os I	2400	2119.96	Os I
6000	2022.02	Pb I	6500	2081.16	T	8866.84	Er I	
8700	2022.35	Ir I	4800	2081.16	T	8866.96	Fe I	
14000	2022.76	Os I	2900	2081.16	T	18	8867.31	Cd I
2400	2024.34	Cu I	3700	2081.16	T	15	8868.82	Th I
3000	2025.48	Zn II				18	8870.30	Eu I
7300	2026.08	W				30	8891.20	Ce II
8500	2027.17	W				60	8899.52	Zr I
14000			19	8816.56	U I	45	8905.75	Dy II
3700			3	8818.93	La I	35	8905.78	Nb I
			15	8819.15	Co I	95	8913.66	Sm II
			40	8823.8	Se I	35	8914.99	Ba I
			15	8824.23	Fe I	90	8915.98	Ho II
			35	8825.82	La I	50	8918.80	Se I
			21	8832.06	Cd II			
6	8782.17	Ce I	7	8832.81	Dy II			
8	8782.46	Eu I	13	8833.08	Dy II	60	8919.85	V I
13	8784.55	Th II	30	8833.08	Dy II	70	8922.56	Yb II
10	8784.85	Cd I	20	8834.35	Sc I	29	8932.93	V I
8	8786.23	Zr I	19	8834.49	Ho I	8000	8943.59	Cs I
	8787.37	U II	70	8835.85	Y II	40	8947.15	Cr I
23	8788.83	Sm II	17	8836.09	Zr I	15	8957.97	Th II
6	8789.87	Ce I	21	8839.10	Nd II	40	8967.64	Th I
12	8790.88	Eu I	6	8839.63	La I	12	8971.62	V I
45	8791.39	Dy II	18	8841.17	Th I	15	8971.96	Th ThO
6	8793.38	Fe I	14	8842.07	Th II	19	8976.83	Cr I
15	8794.72	Se I	14	8844.14	Cd I	25	8999.56	Fe I
10	8795.76	Cd I	24	8850.37	Dy II	65	9004.73	Hf I

この文献は、特に2000 Å以下の真空紫外領域の発光スペクトルについて、元素別および波長順にまとめられている。

2.2.a. Vacuum Ultraviolet Linelist by Spectrum—Continued

In-ten-sity	Wavelength Å	Wave number cm ⁻¹	In-ten-sity	Wavelength Å	Wave number cm ⁻¹	In-ten-sity	Wavelength Å	Wave number cm ⁻¹
Ge II—Continued			Sr IV—Continued			Sr IV—Continued		
1	875.4927	114221.40	20	478.6113	208937.80	10	295.8897	337963.83
1	862.2339	115977.81	25	471.7580	211973.07	8	295.3501	338581.20
Kr I			20	465.2331	214946.01	8	293.3046	340942.52
30	1235.838	80916.76	15	449.4736	222482.49	12	293.2161	341045.43
10	1164.867	85846.70	25	442.7302	225871.18	10	293.1653	341104.48
5	1030.023	97085.20	15	440.1472	227196.72	9	293.0687	341216.97
5	1003.550	99646.22	20	437.6558	228490.04	12	291.1881	343420.68
5	1001.061	99894.03	20	437.3417	228654.17	12	291.0897	343536.74
2	963.374	103801.8	30	430.6439	232210.43	10	290.5323	344195.86
2	953.404	104887.3	20	430.3576	232364.90	10	289.6795	345209.11
1	951.056	105146.3	25	430.2118	232443.63	10	285.2983	350510.38
2	946.535	105648.5	15	422.0751	236924.66	10	285.1680	350510.38
3	945.441	105770.7	30	419.7836	238217.7			

Wavelength Å	Inten-sity	Spectrum	Wavelength Å	Inten-sity	Spectrum	Wavelength Å	Inten-sity	Spectrum
1998.8870	1000	Ge I	1952.5758	5	Cu II	1924.7537	5	Al II
1997.8064	150	Ge I	1949.6947	7	Ne II	1924.1654	7	Ne II
1994.0957	9	Ne II	1946.7947	2	Ar II	1923.4674	100	Ce I
1993.6212	2	C I	1946.4929	10	Cu II	1923.339	20	Mn II
1991.8537	10	Si I	1944.7313	300	Ge I	1923.067	20	Mn II
1990.5310	70	Al II	1944.5970	25	Cu II	1922.1425	5	C
1989.8554	30	Cu II	1944.1163	150	Ge I	1921.248	80	O VII
1989.1174	100	Ge I	1939.8749	7	Ne II	1920.6718		O VII
1988.9937	200	Si I	1939.2606	22	Al II	1920.6718		O VII
1988.2669	600	Ge I	1938.8907	50	Ge II	1920.6718		O VII
1987.8493	300	Ge I	1938.8269	20	B v	16.0059	5	O VII
1986.3640	100	Si I	1938.3003		B v	15.1762	20	O VIII
1984.4400	4	Si I	1938.3003		B v	15.1762	7	O VIII
1983.2330	60	Si I	1938.3003		C v	14.8206	3	O VIII
1981.3883	2	Si I	1938.3003		C v	14.6343	2	O VIII
1980.610		O IV	40.2679	100	C v	14.5243	1	O VIII
		O V	38.8709	7	B v			
		Li III	37.9599	3	B v			
		Mg IV	37.4828	2	B v			
			37.2008	1	B v			
132.5123	3	Mg IV	34.9729	25	C v			
132.1238	5	Mg IV	33.7360	100	C VI			
124.6159	4	O V	33.4264	10	C v			
113.9051	20	Li III	32.7545	5	C v			
107.9990	7	Li III	28.4656	20	C VI			

ランプの発光シミュレーションなどで発光強度を計算したい時時遷移確率 (A) のデータが必要である。Meggers 等の "Tables of Spectral Line Intensities Arranged by Wavelength" のデータ (データ集 A-10) から70の元素について遷移確率Aを求めたものである。遷移確率については一番まとまっている。電子構造がわかった遷移についてのみ記載してあり、その点特に希土類元素では不備である。NaについてはA-5のほうが良く利用される。

各元素 (中性原子、イオン) について波長、元素、遷移エネルギーレベル (単位は cm^{-1})、gA, gf, Log (gf) が記載されている。

ここで g : 統計的重率 A : 遷移確率 f : Oscillator Strength である。

Wavelength A	Spectrum	Energy Levels K	gA $10^8/\text{sec}$	gf	Log gf
2692.78	Sc I	0 - 37126	1.2	0.13	-0.89
2706.77	Sc I	0 - 36934	3.4	0.37	-0.43
2707.95	Sc I	168 - 37086	2.0	0.22	-0.66
2711.35	Sc I	168 - 37040	5.6	0.62	-0.21
2965.86	Sc I	0 - 33707	1.4	0.18	-0.73
2974.01	Sc I	0 - 33615	4.9	0.65	-0.19
2980.75	Sc I	168 - 33707	6.0	0.80	-0.10
2988.95	Sc I	168 - 33615	1.4	0.18	-0.74
3015.36	Sc I	0 - 33154	7.8	1.1	0.03
3019.34	Sc I	168 - 33279	9.9	1.4	0.13
3030.76	Sc I	168 - 33154	1.3	0.18	-0.74
3255.69	Sc I	0 - 30707	3.3	0.52	-0.28
3269.91	Sc I	0 - 30573	9.1	1.5	0.16
3273.63	Sc I	168 - 30707	12.	1.9	0.28
3416.68	Sc I	15757 - 45016	11.	2.0	0.29
3418.51	Sc I	15882 - 45126	17.	3.0	0.48
3419.36	Sc I	15673 - 44910	8.1	1.4	0.15
3429.21	Sc I	15757 - 44910	25.	4.3	0.64
3429.48	Sc I	15673 - 44823	24.	4.2	0.63
3431.36	Sc I	15882 - 45016	34.	5.9	0.77
3435.56	Sc I	16027 - 45126	70.	12.	1.09
3439.41	Sc I	15757 - 44823	11.	1.9	0.28
3448.49	Sc I	16027 - 45016	8.5	1.5	0.18
3457.45	Sc I	16211 - 45126	35.	6.3	0.80
3462.19	Sc I	16141 - 45016	23.	4.1	0.61
3469.65	Sc I	16010 - 44823	16.	2.9	0.46
3471.13	Sc I	16022 - 44823	13.	2.4	0.39
3498.91	Sc I	16027 - 44599	23.	4.2	0.62
3907.49	Sc I	0 - 25585	12.	2.7	0.44
3911.81	Sc I	168 - 25725	15.	3.3	0.52
3933.38	Sc I	168 - 25585	2.7	0.62	-0.21
3996.61	Sc I	0 - 25014	2.9	0.69	-0.16
4020.40	Sc I	0 - 24866	10.	2.4	0.39
4023.69	Sc I	168 - 25014	10.	2.5	0.41
4030.67	Sc I	16023 - 40826	10.	2.5	0.39

A-5 " Atomic Transition Probabilities Sodium Through Calcium a Critical Data Compilation "

Wiese 他 NSRDS-NBS 22 (1969)

NaからCaまでの10種類の元素（中性原子、イオン）について、遷移レベル、多重項、波長、統計的重率、遷移確率などが記載されている。

Na I. Allowed Transitions

No.	Transition Array	Multiplet	$\lambda(\text{\AA})$	$E_l(\text{cm}^{-1})$	$E_k(\text{cm}^{-1})$	g_l	g_k	$A_{ki}(10^8 \text{sec}^{-1})$	f_{ik}	$S(\text{at.u.})$	$\log gf$	Accuracy	Source
1	3s-3p	² S- ² P° (1)	5891.8	0	16968	2	6	0.629	0.982	38.1	0.293	A	2, 3, 4,
			5889.95	0	16973	2	4	0.630	0.655	25.4	0.117	A	5, 6, 8
			5895.92	0	16956	2	2	0.628	0.327	12.7	-0.184	A	ls
2	3s-4p	² S- ² P° (2)	3302.6	0	30271	2	6	0.0292	0.0142	0.311	-1.55	C+	4
			3302.37	0	30273	2	4	0.0290	0.0094	0.207	-1.73	C+	ls
			3302.98	0	30267	2	2	0.0293	0.00477	0.104	-2.021	C+	ls

Na IX. Allowed Transitions

No.	Transition Array	Multiplet	$\lambda(\text{\AA})$	$E_l(\text{cm}^{-1})$	$E_k(\text{cm}^{-1})$	g_l	g_k	$A_{ki}(10^8 \text{sec}^{-1})$	f_{ik}	$S(\text{at.u.})$	$\log gf$	Accuracy	Source
1	2s-2p	² S- ² P°	685.85	0	145805	2	6	6.59	0.140	0.630	-0.553	B	1
			[681.72]	0	146688	2	4	6.71	0.0936	0.420	-0.728	B	ls
			[694.26]	0	144038	2	2	6.36	0.0459	0.210	-1.037	B	ls
2	2s-3p	² S- ² P°	70.628	0	1415876	2	6	1380	0.310	0.144	-0.208	B	ca
			[70.615]	0	1416130	2	4	1380	0.206	0.0960	-0.385	B	ls
			[70.653]	0	1415368	2	2	1380	0.103	0.0480	-0.686	B	ls
3	2s-4p	² S- ² P°	[53.860]	0	1856665	2	6	630	0.082	0.0292	-0.79	C+	ca
4	2p-3s	² P°- ² S	81.292	145805	1375944	6	2	705	0.0233	0.0374	-0.854	B	ca
			[81.350]	146688	1375944	4	2	470	0.0233	0.0250	-1.031	B	ls
			[81.175]	144038	1375944	2	2	236	0.0234	0.0125	-1.330	B	ls
5	2p-4s	² P°- ² S	59.013	145805	1840336	6	2	276	0.00480	0.0056	-1.54	C	ca
			[59.044]	146688	1840336	4	2	184	0.00480	0.00373	-1.72	C	ls
			[58.952]	144038	1840336	2	2	92	0.00482	0.00187	-2.016	C	ls
6	2p-3d	² P°- ² D	77.819	145805	1430114	6	10	4430	0.670	1.03	0.604	B	ca
			[77.911]	146688	1430204	4	6	4410	0.602	0.618	0.382	B	ls
			[77.764]	144038	1429980	2	4	3690	0.670	0.343	0.127	B	ls
			[77.925]	146688	1429980	4	4	735	0.0670	0.0687	-0.572	B	ls
7	2p-4d	² P°- ² D	58.254	145805	1862432	6	10	1620	0.137	0.158	-0.085	C+	ca
			[58.279]	146688	1862572	4	6	1620	0.124	0.095	-0.305	C+	ls
			[58.201]	144038	1862222	2	4	1360	0.138	0.053	-0.56	C+	ls
			[58.291]	146688	1862222	4	4	267	0.0137	0.0105	-1.261	C+	ls
8	3s-3p	² S- ² P°	2503.5	1375944	1415876	2	6	0.822	0.232	3.82	-0.333	B	ca
			[2487.7]	1375944	1416130	2	4	0.839	0.156	2.55	-0.506	B	ls
			[2535.8]	1375944	1415368	2	2	0.789	0.0761	1.27	-0.818	B	ls
9	3s-4p	² S- ² P°	[208.02]	1375944	1856665	2	6	171	0.334	0.457			
10	3p-3d	² P°- ² D	7021.5	1415876	1430114	6	10						
			[7103.41]										

Part Iでは、発光スペクトルについて元素別・波長順に整理されている。

Part IIでは、各元素別に各発光スペクトルの統計的重率・遷移確率について記載されている。

Intensity	Wavelength		Intensity	Wavelength		Intensity	Wavelength		Intensity	Wavelength	
1300	4452.73	Sm II	18	4462.46	Ni I	110	4472.85	B II	640	4484.19	W I
300	4452.86	I II	20	4462.73	Ac I	620	4473.02	Sm II	120	4484.57	Ho II
250	4452.95	Sm I	740	4462.99	Nd II	300	4473.23	Pm II	220	4484.70	Gd I
160	4453.00	Mn I	150	4463.00	P II	100	4473.50	Er II	120	4484.76	Os I
840	4453.32	Ti I	70	4463.38	Ti I	100	4473.59	Ho II	300 r	4485.05	Pm I
	4453.44	Cs II	420	4463.41	Ce II	180	4473.59	Pd I	24	4485.15	Eu II
		Ti I	95	4463.54	Ti I	40	4473.89	Y I	500	4485.27	Ce III
			200	4463.668	P III	190	4473.93	Ru I	2	4485.52	Be III
			900	4463.689	Kr I	120	4474.04	V I	280	4486.90	Gd I
				4464.68	Mn I	700	4474.13	Gd I	840	4486.91	Ce II
					Cr I	500	4474.46	As II	220	4487.05	B III
						630	4474.56	Mo I	3000	4487.06	Tc I
							4474.63	Na II	110	4487.28	Y I
								V I	100 h	4487.30	Be III
									300	4487.47	Y I
										4488.05	Cr I
											Au I
SCANDIUM (Sc)											
Z = 21											
Sc I and II											
Refs. 1,88 - C.H.C.											
Air											
65	2429.16	I	6600	3645.31	II	4200	4305.71	I	1100	5086.95	I
110	2438.62	I	110	3646.90	I	3300	4314.09	II	750	5087.14	I
560	2545.22	II	5300	3651.80	II	2400	4320.74	II	390	5089.89	I
2900	2552.37	II	110	3664.25	II	180	4325.01	II	270	5092.46	I
560	2555.82	II	290	3666.54	II	110	4338.64	I	45	5096.73	I
2300	2560.25	II	55	3675.26	II	55	4359.08	I	390	5099.23	I
1100	2563.21	II	40	3678.35	II	28	4364.92	I	620	5101.12	I
40	2611.22	II	75 h	3717.10	I	2000	4374.46	II	370	5109.06	I
19	2684.23	II	270	3833.07	II	130	4384.81	II	180	5112.86	I
120	2692.78	I	610	3843.03	II	45 h	4389.60	I	150	5116.69	I
360	2706.77	I	90	3894.97	I	1100	4400.37	II	320	5133.68	ScO
210	2707.95	I	20000	3907.49	I	880	4415.56	II	70 b	5171.06	ScO
580	2711.35	I	23000	3911.81	I	28	4420.66	II	45 b	5171.06	I
30	2819.54	II	45	3923.51	II	45	4431.36	II	390	5210.52	I
35	2822.15	II	4400	3933.38	I	65	4542.55	I	45	5211.28	I
60	2826.68	II	45	3952.27	I	90	4544.68	I	280	5219.67	I
						120 h	4557.24	I	350	5239.82	II

TABLE Ib. Transition probabilities for selected atomic and ionic species—Continued

Wavelength (λ(Å))	Upper energy level (E_u (cm ⁻¹))	Stat. weights g_u, g_l	Transition Probability ($A(10^6 \text{ s}^{-1})$)	Unc.	Wavelength (λ(Å))	Upper energy level (E_u (cm ⁻¹))	Stat. weights g_u, g_l	Transition Probability ($A(10^6 \text{ s}^{-1})$)	Unc.
Scandium									
Sc I					Sc I				
2113.5	47315	4 6	.032	C	4020.4	24866	4 4	1.65	C
2263.0	44189	4 4	.058	C	4023.7	25014	6 6	1.44	C
2267.3	44105	4 2	.48	C	4753.2	21033	4 6	.010	C
2271.6	44189	6 4	.46	C	4779.4	21086	6 8	.0084	C
2335.4	42819	4 2	.17	C	4791.5	21033	6 6	.0023	C
2346.8	42780	6 4	.13	C	5301.9	18856	4 4	.0013	C
2439.4	41163	6 6	.21	C	5343.0	18711	4 2	.0051	C
2439.9	41153	6 4	.022	C	5349.7	18856	6 4	.0040	C
2711.4	37040	6 6	.29	C	6210.7	16097	4 4	.012	C
2739.8	36666	6 6	.0056	C	6239.8	16022	4 4	.0065	C
2974.0	33615	4 4	.45	C	6305.7	16023	6 6	.015	C
2980.8	33707	6 6	.44	C	6378.8	15673	4 4	.0016	C
3015.4	33154	4 6	.66	C	6448.1	15673	6 4	2.6 (-4)	C
3019.3	33278	6 8	.81	C					
3269.9	30573	4 2	3.1	C	Sc II				
3273.6	30707	6 4	2.7	C	2273.1	55716	1 3	7.7	D
3907.5	25585	4 6	1.28	C	3353.7	32350	5 7	2.0	D
3911.8	25725	6 8	1.37	C	3372.2	29824	7 5	1.2	D
					3535.7	30816	5 3	.83	D

次の中性原子、イオンについてエネルギーレベル（基底レベルからの）、電子構造、内部量子数（J）、電離電圧などが記載されている。

P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni
 Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb
 Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe
 Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl
 Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Ac

ランプ（高圧、低圧）の発光特性のシミュレーションなどにこのようなデータが必要である。

下記の表において Config.: 最外殻（及びその近傍の）電子エネルギー状態
 Desig.: 電子エネルギー状態の名称 J: 内部量子数 Level: 基底レベルからのエネルギー（単位は cm^{-1} ） Interval: 準位間のエネルギー差 を示す。

Sc I

Sc I

Config.	Desig.	J	Level	Interval	Obs. g	Config.	Desig.	J	Level	Interval	Obs. g
3d 4s ²	a ³ D	1½	0.00	168.84	0.79	3d ² (a ³ F)4p	y ⁴ D°	½	22637.40	21.81	
		2½	168.34					1½	22659.21		
3d ² (a ³ F)4s	a ⁴ F	1½	11520.15	37.49	1.20	3d ² (a ³ F)4p	z ³ G°	2½	22696.84	95.21	
		2½	11557.64					3½	22751.64		
		3½	11610.24					4½	33056.19		
		4½	11677.31					4½	33151.40		
3d ² (a ³ F)4s	a ³ F	2½	14926.24	115.74		3d ² (a ³ F)4p	z ³ F°	2½	33154.01	124.63	
		3½	15041.98					3½	33278.64		
3d 4s(a ³ D)4p	z ⁴ F°	1½	15672.55	83.96		3d ² (a ³ F)4p	z ³ D°	1½	33615.06	92.19	
		2½	15756.51					2½	33707.25		
		3½	15881.76					3½	33798.68		
		4½	16026.52					3½	33846.62		
3d 4s(a ³ D)4p	z ⁴ D°	½	16009.71	12.07		3d ²	e ⁴ F	1½	33763.57	35.11	
		1½	16021.78					2½	33798.68		
		2½	16141.04					3½	33846.62		
		3½	16210.80					4½	33906.40		
3d 4s(a ¹ D)4p	z ³ D°	2½	16022.72	-74.14		3d 4s(a ³ D)5s	e ⁴ D	½	34390.25	32.60	
		1½	16096.86					1½	34422.85		
3d ² (b ¹ D)4s	b ³ D	2½	17012.98	-12.38		3d 4s(a ³ D)5s	e ³ D	1½	35671.00	74.57	
		1½	17025.36					2½	35745.57		
3d ² (a ³ P)4s	a ⁴ P	½	17918.85	29.13		3d ² :	f ³ D	1½	36276.76	53.73	
		1½	17947.98					2½	36330.49		
		2½	18000.25					½	36492.82		
3d 4s(a ³ D)4p	z ⁴ P°	½	18504.05	11.72		3d ²	e ⁴ P	1½	36515.76	22.94	
		1½	18515.77					2½	36572.80		
		2½	18571.40					55.63	3d ² (b ¹ D)4p			w ^{3}D°	1½	36934.15	105.62
2½	18711.03	144.73	3d 4s(a ³ D)4d	e ³ P	½	37085.72					
3d 4s(a ¹ D)4p	z ³ P°	½	18711.03	-2.82		3d ² (b ¹ D)4p	w ³ P°	1½	37148.25	62.53	
		1½	18855.76					1½	37086.51		
3d ² (a ¹ G)4s	a ³ G	4½	20237.10	53.06		3d ² (a ³ P)4p	z ⁴ D°	½	37185.72	-39.41	
		3½	20239.92					1½	37486.48		
3d 4s(a ¹ D)4p	z ³ F°	2½	21032.78	80.40				2½	37553.54	66.80	
		3½	21035.84					3½	37717.11			163.77
3d ² (a ³ P)4s	a ³ P	½	[21400 +v	80.40				½			
		1½	21480.40 +v								

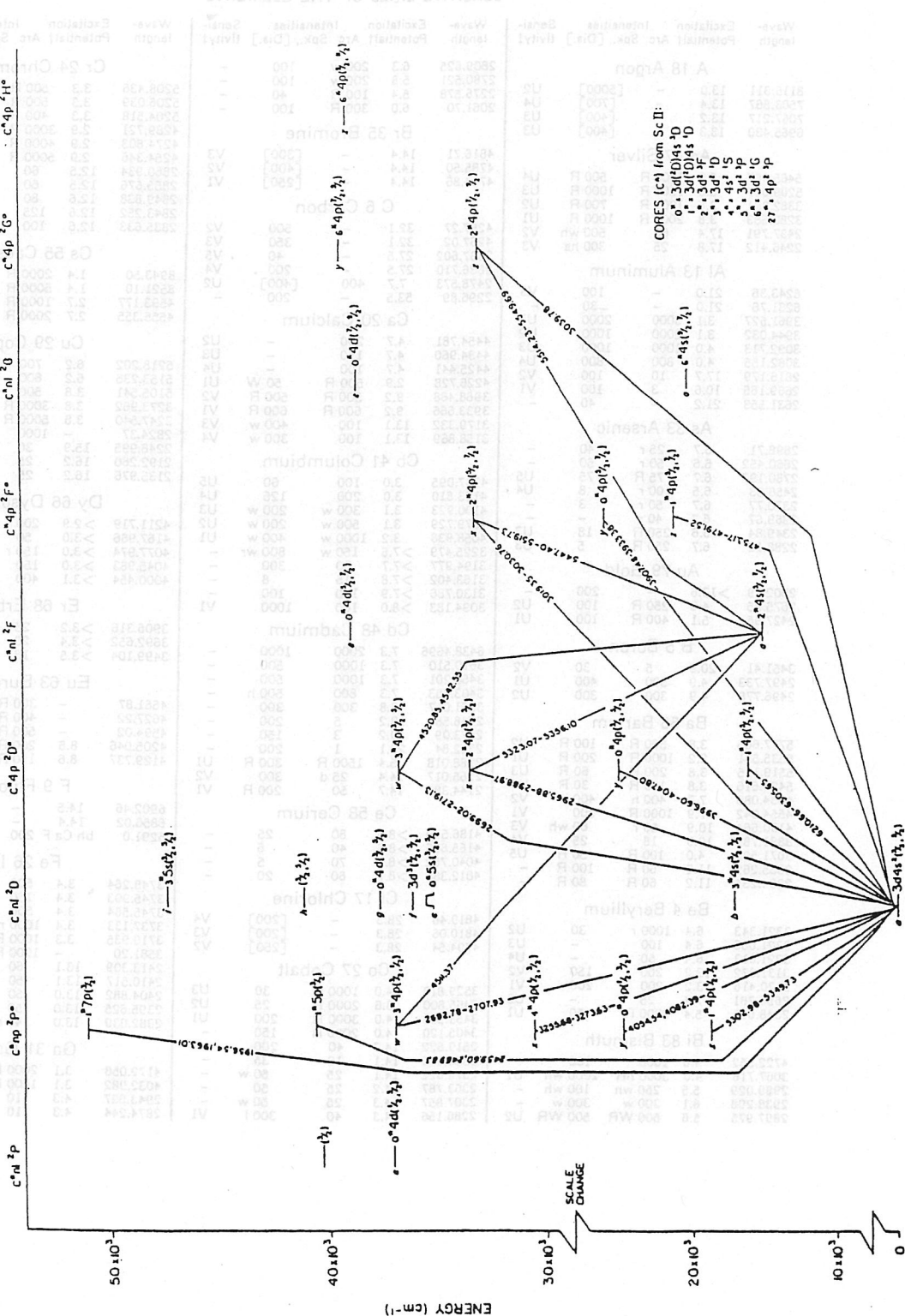
下記の元素の、Grotorian Diagram が記載されている。

H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti

Sc I
3d⁴s² 7D AND
2⁴F TO
OTHER DOUBLETS
GROTORIAN DIAGRAM

Sc I GROTORIAN DIAGRAM (21 electrons, Z=21)

(Configuration: 1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d⁴s² 7D and 2⁴F to Other Doublets)



スパーク、アーク、放電管で観測された2000~10000Åの109275のスペクトル線について中性原子、1価イオン、2価イオンの同定を行い、波長順にまとめている。

スペクトル線の強度も付いている。

下記の表は元素別のスペクトル線である。

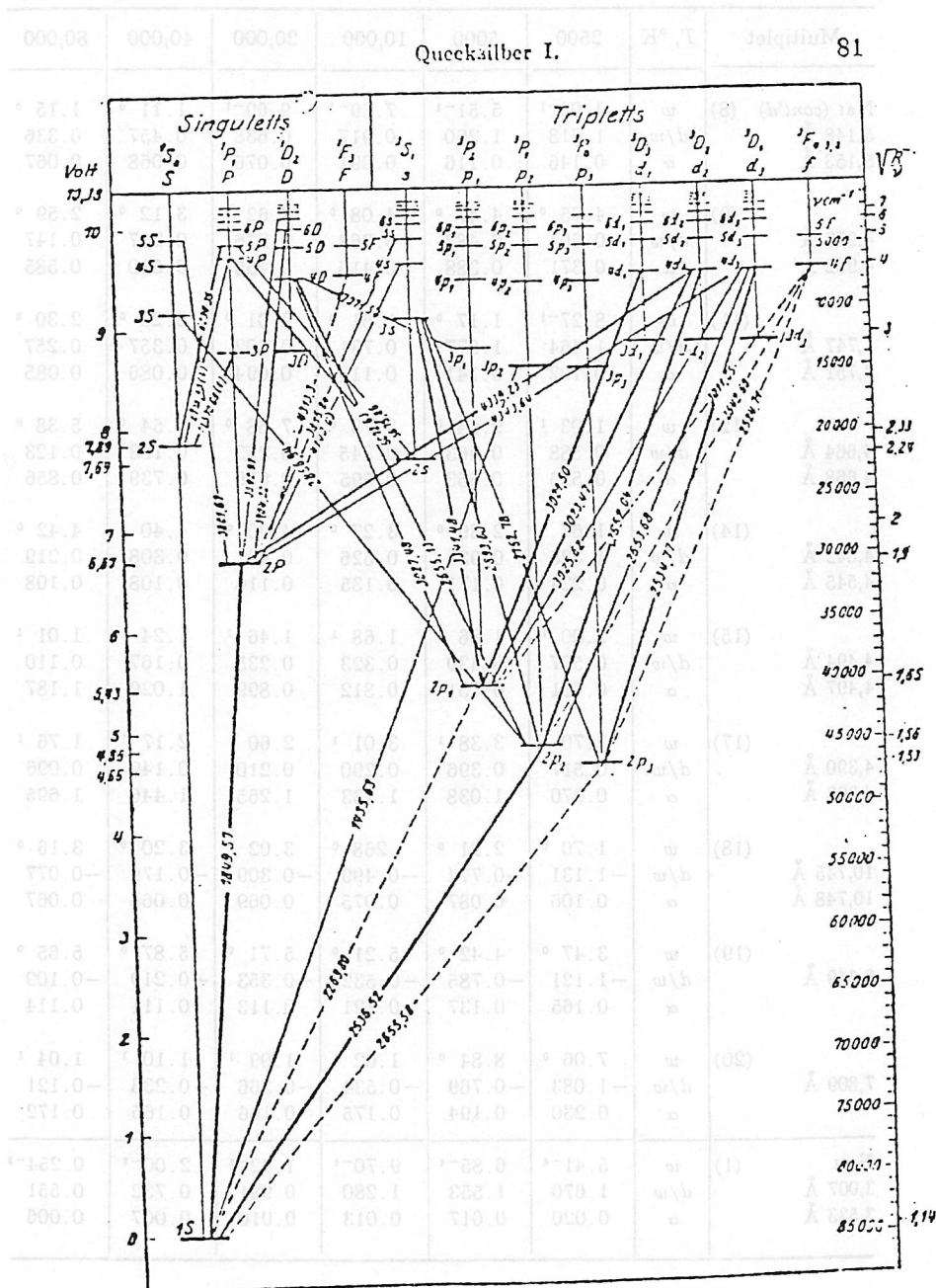
TABLE III

SENSITIVE LINES OF THE ELEMENTS*

Wave-length	Excitation Potential	Intensities Arc Spk., [Dia.]	Sensitivity	Wave-length	Excitation Potential	Intensities Arc Spk., [Dia.]	Sensitivity	Wave-length	Excitation Potential	Intensities Arc Spk., [Dia.]	Sensitivity								
A 18 Argon				Br 35 Bromine				Cr 24 Chromium											
8115.311	13.0	- [5000]	U2	2809.625	6.3	200 w	100	-	5208.436	3.3	500 R	100	U4						
7503.867	13.4	- [700]	U4	2780.521	5.8	200 w	100	-	5206.039	3.3	500 R	200	U5						
7067.217	13.2	- [400]	U3	2276.578	5.4	100 R	40	-	5204.518	3.3	400 R	100	U6						
6965.430	13.3	- [400]	U3	2061.70	6.0	300 R	100	-	4289.721	2.9	3000 R	800 r	U3						
Ag 47 Silver				C 6 Carbon				Cs 55 Caesium											
5465.487	6.0	1000 R	500 R	U4	4816.71	14.4	- [300]	V3	4274.803	2.9	4000 R	800 r	U2						
5209.067	6.0	1500 R	1000 R	U3	4785.50	14.4	- [400]	V2	4254.346	2.9	5000 R	1000	U1						
3382.891	3.6	1000 R	700 R	U2	4704.86	14.4	- [250]	V1	2860.934	12.5	60	100	V5						
3280.683	3.8	2000 R	1000 R	U1					2855.676	12.5	60	200 wh	V4						
2437.791	17.4	60	500 wh	V2					2849.838	12.6	80	150 r	V3						
2246.412	17.8	25	300 hs	V3					2843.252	12.6	125	400 r	V2						
Al 13 Aluminum								2835.633				12.6	100	400 r	V1				
6243.36	21.0	-	100	-					Cu 29 Copper										
6231.76	21.0	-	30	-					Dy 66 Dysprosium										
3961.527	3.1	3000	2000	U1					4211.719				>2.9	200	15	-			
3944.032	3.1	2000	1000	U2					4167.966				>3.0	50	12	-			
3092.713	4.0	1000	1000	U3					4077.974				>3.0	150 r	100	-			
3082.155	4.0	800	800	U4					4045.983				>3.0	150	12	-			
2816.179	17.7	10	100	V2					4000.454				>3.1	400	300	-			
2669.166	10.6	3	100	V1					Er 68 Erbium										
2631.553	21.2	-	40	-					3906.316				>3.2	25	12	-			
As 33 Arsenic												3692.652				>3.4	20	12	-
2898.71	6.7	25 r	40	-					3499.104				>3.5	18	15	-			
2860.452	6.6	50 r	50	-					Eu 63 Europium										
2780.197	6.7	75 R	75	U5					4661.87				-	300 R	120	550			
2456.53	6.5	100 r	8	U4					4627.22				-	400 R	150	650			
2370.77	6.7	50 r	3	-					4594.02				-	500 R	200	750			
2369.67	6.7	40 r	-	-					4205.046				8.6	200 R	50	-			
2349.84	6.6	250 R	18	U3					4129.737				8.6	150 R	50 R	-			
2288.12	6.7	250 R	5	U3					F 9 Fluorine										
Au 79 Gold												6902.46				14.5	-	[500]	U3
2802.19	>13.6	-	200	-					6856.02				14.4	-	[1000]	U2			
2675.95	4.6	250 R	100	U2					5291.0				bh Ca F 200	-	-	-			
2427.95	5.1	400 R	100	U1					Fe 26 Iron										
B 5 Boron												3748.264				3.4	500	200	U4
3451.41	20.9	5	30	V2					3745.903				3.4	150	100	U5			
2497.733	4.9	500	400	U1					3745.564				3.4	500	500	U3			
2496.778	4.9	300	300	U2					3737.133				3.4	1000 r	600	U2			
Ba 56 Barium												3719.935				3.3	1000 R	700	U1
5777.665	3.8	500 R	100 R	U2					3581.20				-	1000 R	600 R	600			
5535.551	2.2	1000 R	200 R	U1					2413.309				13.1	60	100 h	V5			
5519.115	3.8	200 R	60 R	U3					2410.517				13.1	50	70 h	V4			
5424.616	3.8	100 R	30 R	U4					2404.882				13.0	50	100 wh	V3			
4934.086	7.7	400 h	400 h	V2					2395.625				13.0	50	100 wh	V2			
4554.042	7.9	1000 R	200	V1					2382.039				13.0	40 r	100 R	V1			
4130.664	10.9	50 r	60 wh	V3					Ga 31 Gallium										
3891.785	10.9	18	25	V4					4172.058				3.1	2000 R	1000 R	U1			
3071.591	4.0	100 R	50 R	U5					4032.982				3.1	1000 R	500 R	U2			
2335.269	11.2	60 R	100 R	-					2943.637				4.3	10	20 r	U3			
2304.235	11.2	60 R	80 R	-					2874.244				4.3	10	15 r	U4			
Be 4 Beryllium																			
3321.343	6.4	1000 r	30	U2															
3321.086	6.4	100	-	U3															
3321.013	6.4	50	-	U4															
3131.072	13.2	200	150	V2															
3130.416	13.2	200	200	V1															
2650.781	7.4	25	-	U5															
2348.610	5.4	2000 R	50	U1															
Bi 83 Bismuth																			
4722.552	4.0	1000	100	-															
3067.716	4.0	3000 hR	2000 wh	U1															
2989.029	5.5	250 wh	100 wh	-															
2938.298	6.1	300 w	300 w	-															
2897.975	5.6	500 WR	600 WR	U2															

古典的なエネルギー-単位図表

Li, Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, He, B, Al, Ga, In, Tlについて
エネルギー-単位図と可能な発光遷移がのっている。



本文はプラズマ放電の理論書である。付録にTABLE がついており各種の吸収関連の定数 (Absorption oscillator strengths, Stark-broadening parameterなど) が載っている。

Table 4-5 Calculated Stark-broadening parameters for isolated visible lines of neutral and singly ionized atoms (helium through calcium and neutral cesium) (Continued)

Multiplet	$T, ^\circ\text{K}$	2500	5000	10,000	20,000	40,000	80,000
NaI (cont'd) (8) 5,148 Å 5,153 Å	w	4.05^{-1}	5.51^{-1}	7.59^{-1}	9.69^{-1}	1.11^0	1.15^0
	d/w	1.618	1.290	0.917	0.638	0.457	0.336
	α	0.146	0.116	0.091	0.076	0.068	0.067
(9) 4,978 Å 4,982 Å	w	4.75^0	4.47^0	4.08^0	3.62^0	3.12^0	2.59^0
	d/w	0.604	0.483	0.368	0.276	0.207	0.147
	α	0.371	0.388	0.416	0.455	0.510	0.585
(11) 4,747 Å 4,751 Å	w	8.27^{-1}	1.17^0	1.61^0	2.01^0	2.26^0	2.30^0
	d/w	1.464	1.077	0.731	0.502	0.357	0.257
	α	0.182	0.141	0.116	0.094	0.086	0.085
(12) 4,664 Å 4,668 Å	w	1.03^1	9.64^0	8.73^0	7.68^0	6.54^0	5.38^0
	d/w	0.588	0.463	0.345	0.253	0.183	0.123
	α	0.526	0.553	0.595	0.656	0.739	0.856
(14) 4,542 Å 4,545 Å	w	1.67^0	2.39^0	3.27^0	4.00^0	4.40^0	4.42^0
	d/w	1.325	0.933	0.626	0.431	0.308	0.219
	α	0.224	0.171	0.135	0.116	0.108	0.108
(15) 4,494 Å 4,497 Å	w	2.00^1	1.86^1	1.68^1	1.46^1	1.24^1	1.01^1
	d/w	0.567	0.439	0.323	0.235	0.167	0.110
	α	0.711	0.751	0.812	0.899	1.020	1.187
(17) 4,390 Å 4,393 Å	w	3.70^1	3.38^1	3.01^1	2.60^1	2.17^1	1.76^1
	d/w	0.517	0.396	0.290	0.210	0.149	0.096
	α	0.970	1.038	1.133	1.265	1.446	1.695
(18) 10,745 Å 10,748 Å	w	1.70^0	2.21^0	2.68^0	3.02^0	3.20^0	3.16^0
	d/w	-1.131	-0.774	-0.499	-0.309	-0.179	-0.077
	α	0.106	0.087	0.075	0.069	0.066	0.067
(19) 8,649 Å	w	3.47^0	4.42^0	5.21^0	5.71^0	5.87^0	5.65^0
	d/w	-1.121	-0.785	-0.532	-0.353	-0.219	-0.109
	α	0.165	0.137	0.121	0.113	0.111	0.114
(20) 7,809 Å	w	7.06^0	8.84^0	1.02^1	1.09^1	1.10^1	1.04^1
	d/w	-1.083	-0.769	-0.534	-0.366	-0.233	-0.121
	α	0.230	0.194	0.175	0.166	0.165	0.172
NaII (1) 3,007 Å 3,533 Å	w	5.41^{-4}	6.85^{-4}	9.70^{-4}	1.42^{-3}	2.00^{-3}	0.254^{-3}
	d/w	1.070	1.553	1.280	0.981	0.732	0.551
	α	0.020	0.017	0.013	0.010	0.007	0.006

代表的な熱力学データ集である。

元素、酸化物、ハロゲン化物、窒化物、などの約1100の物質、状態について C_p , S , ΔH , ΔF , K_p などが温度ごとに表示されている。各元素のReference 状態の相が明示されている。

特にW (タングステン) 関連多い。ただし希土類元素は含まない。

Bromine, Monatomic (Br)

(Ideal Gas) Mol. Wt. = 79.916

T. °K.	cal. mole ⁻¹ deg. ⁻¹			kcal. mole ⁻¹			Log K _p
	C _p	S°	-(F°-H° ₂₉₈)/T	H°-H° ₂₉₈	ΔH _f	ΔF _f	
0	4.968	0.000	INFINITE	1.481	28.188	28.188	INFINITE
100	4.968	36.378	46.222	0.984	28.351	25.357	55.415
200	4.968	39.821	42.260	0.488	28.262	22.388	24.463
298	4.968	41.805	41.805	0.000	28.740	19.700	14.440
300	4.968	41.836	41.805	0.009	26.733	19.656	14.319
400	4.968	43.265	42.000	0.506	23.110	16.044	9.858
500	4.971	44.374	42.368	1.003	23.165	14.771	7.330
600	4.979	45.281	42.780	1.500	23.218	15.487	5.641
700	4.987	46.050	43.194	1.999	23.271	14.194	4.431
800	5.026	46.719	43.593	2.500	23.324	12.894	3.522
900	5.043	47.313	43.974	3.005	23.379	11.587	2.814
1000	5.107	47.848	44.335	3.513	23.438	10.274	2.245
1100	5.153	48.337	44.677	4.026	23.500	8.954	1.779
1200	5.199	48.788	45.001	4.544	23.566	7.629	1.389
1300	5.243	49.206	45.309	5.066	23.635	6.299	1.059
1400	5.284	49.596	45.601	5.592	23.709	4.962	0.775
1500	5.320	49.961	45.880	6.122	23.785	3.620	0.527
1600	5.351	50.306	46.146	6.656	23.864	2.274	0.311
1700	5.377	50.631	46.400	7.192	23.945	0.922	0.119
1800	5.398	50.939	46.644	7.731	24.029	-0.435	0.053
1900	5.415	51.231	46.878	8.272	24.113	-1.796	0.207
2000	5.428	51.509	47.102	8.814	24.199	-3.162	0.346
2100	5.437	51.775	47.319	9.357	24.285	-4.532	0.472
2200	5.443	52.028	47.527	9.901	24.371	-5.907	0.587
2300	5.446	52.270	47.728	10.446	24.457	-7.284	0.692
2400	5.447	52.501	47.922	10.991	24.543	-8.666	0.789
2500	5.445	52.724	48.110	11.535	24.628	-10.052	0.879
2600	5.442	52.937	48.291	12.080	24.712	-11.440	0.962
2700	5.438	53.143	48.467	12.624	24.796	-12.833	1.039
2800	5.432	53.340	48.638	13.167	24.878	-14.228	1.110
2900	5.425	53.531	48.803	13.710	24.959	-15.626	1.178
3000	5.418	53.715	48.964	14.252	25.039	-17.027	1.240
3100	5.410	53.892	49.120	14.794	25.118	-18.430	1.299
3200	5.402	54.064	49.272	15.334	25.195	-19.836	1.355
3300	5.393	54.230	49.420	15.874	25.271	-21.245	1.407
3400	5.384	54.391	49.563	16.413	25.346	-22.656	1.456
3500	5.375	54.547	49.704	16.951	25.419	-24.068	1.503
3600	5.366	54.698	49.840	17.488	25.490	-25.484	1.547
3700	5.357	54.845	49.973	18.024	25.561	-26.901	1.589
3800	5.348	54.988	50.104	18.559	25.630	-28.319	1.629
3900	5.339	55.126	50.231	19.093	25.697	-29.739	1.666
4000	5.330	55.261	50.355	19.627	25.763	-31.163	1.703
4100	5.321	55.393	50.476	20.159	25.827	-32.587	1.737
4200	5.312	55.521	50.595	20.691	25.890	-34.012	1.770
4300	5.304	55.646	50.711	21.222	25.952	-35.438	1.801
4400	5.295	55.768	50.824	21.752	26.013	-36.866	1.831
4500	5.287	55.887	50.935	22.281	26.072	-38.297	1.860
4600	5.279	56.003	51.044	22.809	26.130	-39.727	1.887
4700	5.271	56.114	51.151	23.337	26.186	-41.159	1.914
4800	5.264	56.227	51.256	23.863	26.241	-42.594	1.939
4900	5.256	56.336	51.358	24.389	26.295	-44.027	1.964
5000	5.248	56.442	51.459	24.915	26.348	-45.463	1.987
5100	5.242	56.546	51.557	25.439	26.399	-46.901	2.010
5200	5.236	56.647	51.654	25.963	26.449	-48.338	2.032
5300	5.229	56.747	51.749	26.486	26.498	-49.774	2.052
5400	5.223	56.845	51.843	27.009	26.544	-51.217	2.073
5500	5.217	56.940	51.935	27.531	26.589	-52.656	2.092
5600	5.211	57.034	52.025	28.052	26.638	-54.099	2.111
5700	5.205	57.126	52.114	28.573	26.683	-55.540	2.129
5800	5.199	57.217	52.201	29.093	26.724	-56.982	2.147
5900	5.194	57.306	52.287	29.613	26.769	-58.424	2.164
6000	5.189	57.393	52.371	30.132	26.810	-59.873	2.181

September 30, 1961

Paerが10ありその内次の4つが関連ある。

Paper No. 3 The Thermodynamics and Physical Properties of the Element

Paper No. 5 The Thermodynamic Properties of Common Gases

Paper No. 6 The Thermodynamic Properties of the Halides

Paper No. 7 The Fusion and Vaporization Data of the Halides

元素、ハロゲン、ハロゲン化物の298 ~ 2000K の4 ~ 5 点での

$H_T - H_{298}$, S_T , $-(F - H_{298})/T$, $H_{298} - H_0$

融点、融解・蒸発熱 (エントロピー), 蒸気圧 を示している。

すべての値は標準状態の値である。(添字 ° が省略されている)

Table 6.3—Free Energy Functions and Heats of Formation

Compound	$(\Delta F - \Delta H_{298})/T$, cal/°K				ΔH_{298}° Kcal/mole	Uncertainty (± values)
	298.1°K	500°K	1000°K	1500°K		
Group I, Alkali Metals						
LiF	20.0	20.4	21.0	21.0 (liq)	-145.6	2
LiCl	17.4	17.8	17.5 (liq)	16.6	-97.7	2
LiBr	17.0	17.5	17.3 (liq)	15.3	-87.4	2
LiI	16.9	16.4	16.1 (liq)	14.2	-72.5	2
NaF	23.4	23.8	23.9	22.3 (liq)	-136.0	0.2
NaCl	21.6	21.9	22.0	19.6 (liq)	-98.3	0.1
NaBr	21.4	21.7	22.0	19.5 (liq)	-90.3	0.4
NaI	20.9	21.2	20.7 (liq)	18.4	-76.7	0.2
KF	24.5	25.3	-25.6	23.4 (liq)	-134.5	0.4
KCl	22.1	22.6	22.8	20.5 (liq)	-104.4	0.2
KBr	21.9	22.3	22.5	20.3 (liq)	-97.7	0.2
KI	22.3	22.6	22.8 (liq)	21.0	-86.3	0.2
RbF	20.9	21.8	21	20 (liq)	-133.2	1
RbCl	22.1	22.5	22.7 (liq)	21.1	-105.1	1
RbBr	20.9	20.9	21 (liq)	20	-99.4	1
RbI	20.8	20.8	21 (liq)	20	-88.4	1
CsF	22.1	23.1	23 (liq)	22	-131.7	0.2
CsCl	23.0	23.5	23.1 (liq)	21.4	-106.3	0.2
CsBr	22.1	23.2	22 (liq)	20	-101.3	0.2
CsI	23.0	24.1	23 (liq)	19	-91.3	0.2
Group II, Alkaline-earth Metals†						
BeF ₂	33.9	33	32	29 (liq)	(-227)	5
BeCl ₂	32.6	32	28 (liq)		-112.6	5
BeBr ₂	31.9	31	27 (liq)		-86.7	5
BeI ₂	33.6	33	29 (liq)		-54.3	5
MgF ₂	38.4	38.1	37.4	37.3	-26.5	1
MgCl ₂	39.7	39.2	38.0 (liq)	33.9	-153.2	0.2
MgBr ₂	36.4	36.1	34.4 (liq)	30	-131.2	0.5
MgI ₂	37.1	36.8	32.1 (liq)	29	-101.7	0.5
CaF ₂	42.2	41.7	40.5	39.8	-290.2	0.5
CaCl ₂	36.1	35.8	34.2	31.9 (liq)	-190.6	1
CaBr ₂	37.6	37.3	35.5	33 (liq)	-169.5	1
CaI ₂	38.3	38.0	36	34 (liq)	-143.4	0.5

O. Kubaschewski (1956)

冶金関連の熱力学データ集であり特に金属について ΔH_{298} 、 S_{298} 、 C_p 、転移熱、蒸気圧が載っている。またそれらのデータを用いてさまざまな反応の標準フリーエネルギー変化が計算されている。

Table E. Standard free energies of reaction (contd.)

Reaction	ΔG in cal			\pm Kcal	Temp.- Range °K	Ref.
	A +	B	C(T)			
$2\langle Fe \rangle + \langle O_2 \rangle + \langle SiO_2 \rangle = \langle Fe_2SiO_4 \rangle$	-135,300	—	+34.4	3	298-1478	193
$2\langle Fe \rangle + \langle O_2 \rangle + 2\langle TiO_2 \rangle = 2\langle FeTiO_3 \rangle$	-129,220	—	+25.86	2	1173-1400	193
$2\langle Fe \rangle + \langle O_2 \rangle + 2\langle Cr_2O_3 \rangle = 2\langle FeCr_2O_4 \rangle$	-131,600	—	+24.2	3	1173-1700	193
$2\langle Fe \rangle + \langle O_2 \rangle + 2\langle Al_2O_3 \rangle = 2\langle FeAl_2O_4 \rangle$	-150,000	—	+41.8	8	1100-1400	193
$2\langle GeI_3 \rangle = \langle Ge \rangle + \langle GeI_4 \rangle$	32,500	18.4	-94.6	3	298-643	108
$\langle Ge \rangle + \langle GeO_2 \rangle = 2\langle GeO \rangle$	-54,600	-6.9	+62.0	4	298-860	108
$\frac{1}{2}\langle H_2 \rangle + \frac{1}{2}\langle Cl_2 \rangle = \langle HCl \rangle$	-21,770	0.99	-5.22	0.6	298-2100	255
$\langle H_2 \rangle + \frac{1}{2}\langle O_2 \rangle = \langle H_2O \rangle$	-57,250	4.48	-2.21	0.3	298-2500	—
or	-58,900	—	13.1	1	298-2500	191
$\langle H_2 \rangle + \langle S \rangle = \langle H_2S \rangle$	-3,320	11.72	-44.55	0.6	298-392	122
$2\langle H_2 \rangle + \langle S_2 \rangle = 2\langle H_2S \rangle$	-40,210	7.25	-1.21	0.7	298-1750	122
or	-43,160	—	23.61	1	298-1800	192
$\frac{1}{2}\langle N_2 \rangle + \frac{1}{2}\langle H_2 \rangle = \langle NH_3 \rangle$	-10,400	7.1	3.79	0.5	298-1000	123
or	-12,050	—	-26.7	2	298-1000	184
$\langle In_2O_3 \rangle + 3\langle H_2 \rangle = 2\langle In \rangle + 3\langle H_2O \rangle$	44,960	3.35	-49.63	3	430-1123	238
$\langle InS \rangle + \langle H_2 \rangle = \langle In \rangle + \langle H_2S \rangle$	41,900	2.75	-41.4	3	298-1000	335
$\langle IrO_2 \rangle = \langle Ir \rangle + \langle O_2 \rangle$	52,200	12.65	-77.25	4	298-1366	274
$\frac{2}{3}\langle Ir_2S_3 \rangle = \frac{4}{3}\langle Ir \rangle + \langle S_2 \rangle$	64,500	—	-44.66	5	1000-1600	192
$\langle KCl \rangle = \langle K \rangle + \frac{1}{2}\langle Cl_2 \rangle$	104,900	—	-24.0	1	298-1043	255
$\langle KCl \rangle = \langle K \rangle + \frac{1}{2}\langle Cl_2 \rangle$	116,600	—	-35.2	1.5	1043-1680	255
$\langle KCl \rangle = \langle K \rangle + \frac{1}{2}\langle Cl_2 \rangle$	66,000	-16.1	-16.84	2	1680-2300	255
$\langle K_2O \rangle = 2\langle K \rangle + \frac{1}{2}\langle O_2 \rangle$	86,000	4.6	-41.6	3	298-	—
$\langle LaN \rangle = \langle La \rangle + \frac{1}{2}\langle N_2 \rangle$	72,100	—	-25.0	9	298-1000	123
$2\langle LiOH \rangle = \langle Li_2O \rangle + \langle H_2O \rangle$	34,910	—	-25.93	3	618-795	48
$\langle MgF_2 \rangle = \langle Mg \rangle + \langle F_2 \rangle$	267,200	—	-40.2	3	298-923	—
$\langle MgF_2 \rangle = \langle Mg \rangle + \langle F_2 \rangle$	269,300	—	-42.5	3	923-1276	—
$\langle MgCl_2 \rangle = \langle Mg \rangle + \langle Cl_2 \rangle$	154,440	9.88	63.13	1	298-923	255
$\langle MgCl_2 \rangle = \langle Mg \rangle + \langle Cl_2 \rangle$	147,850	13.58	72.77	1.5	987-1376	255
$\langle MgCl_2 \rangle = \langle Mg \rangle + \langle Cl_2 \rangle$	184,100	20.71	121.52	1.5	1380-1691	255

金属ヨウ化物の生成、特性などについてアルカリ金属、アルカリ土類金属を除く61の元素について詳述。特性の1項目として熱力学データが載っている。

TABLE 15.6 CRYSTALLOGRAPHIC DATA FOR THE THIRD SUBGROUP ELEMENTS

Element	Ref.	Lattice	Space Group	$a_0, \text{\AA}$.	$c_0, \text{\AA}$.	Z	M - M, \AA .
α -Sc	695	HCP	-	3.3090	5.2733	2	3.24
β -Sc	701	FCC	-	4.53	-	4	3.20
Y	695	HCP	-	3.6474	5.7306	2	3.56
α -La ^a	661	HCP	D_{6h}^4-C6/mmc	3.754	6.061	2	3.73
α -La	695	-	-	3.770	12.159	-	-
β -La	658	FCC	O_h^5-Fm3m	5.294	-	-	3.743
Ac	686	FCC	O_h^5-Fm3m	5.311	-	-	3.755
α -Ce	654	FCC	O_h^5-Fm3m	5.143	-	4	3.64
α -Ce	695	-	-	5.1612	-	-	-
γ -Ce	658	HCP	-	3.65	5.96	2	3.51
α -Pr	695	HCP	-	3.6725	11.8354	4	3.640
β -Pr	658	FCC	O_h^5-Fm3m	5.151	-	4	3.64
Nd	663	HCP	$D_{6h}^4-P6_3/mmc$	3.655	11.796	4	3.626
Nd	695	-	-	3.6579	11.7992	-	-
Sm	672	rhombohedral	$D_{3d}^5-R\bar{3}m$	3.982	$\alpha = 23.31^\circ$	3	3.587, 3.629
Sm	695	HCP	-	3.621	26.25	-	-
Eu	658	BCC	-	4.606	-	2	3.989
Gd	658	HCP	-	3.622	5.748	-	3.55
Gd	695	-	-	3.6360	5.7828	-	-
Tb	658	HCP	-	3.585	5.664	-	3.51
Tb	695	-	-	3.6010	5.6936	-	-
Dy	658	HCP	-	3.578	5.648	-	3.50
Dy	695	-	-	3.5903	5.6475	-	-
Ho	659	HCP	-	3.557	5.620	-	3.48
Ho	695	-	-	3.5573	5.6158	-	-
Er	658	HCP	D_{6h}^4-C6/mmc	3.532	5.589	2	3.46
Er	695	-	-	3.5588	5.5874	-	-
Tm	658	HCP	-	3.523	5.564	-	3.447
Tm	695	-	-	3.5375	5.5546	-	-
Yb	658	FCC	O_h^5-Fm3m	5.468	-	4	3.87
Yb	695	-	-	5.4862	-	-	-
Lu	658	HCP	-	3.509	5.559	-	3.434
Lu	695	-	-	3.5031	5.5509	-	-

TABLE 15.7 SUMMARY OF DATA FOR THE GROUP III IODIDES^a

Property	ScI ₃	YI ₃	LaI ₃	CeI ₃	PrI ₃	NdI ₃	SmI ₃	SmI ₂	EuI ₃	EuI ₂	GdI ₃	TbI ₃	DyI ₃	HoI ₃	ErI ₃	TmI ₃	LuI ₃
Melting point, °K.	1,237	1,273	1,034	1,025	1,006	1,048	1,093	1,113	[1,150]	[800]	1,199	[1,225]	1,228	1,283	1,293	1,288	1,315
ΔH_m , cal. mole ⁻¹	[18,000]	[12,000]	[8,000]	[8,000]	[8,000]	[8,000]	[9,000]	-	[9,000]	[5,000]	[10,000]	[10,000]	[10,000]	[10,000]	[10,000]	[10,000]	[11,000]
ΔS_m , cal. mole ⁻¹ deg. ⁻¹	15	9	8	8	8	8	8	-	8	6	8	8	8	8	8	8	8
Boiling point, °K.	[1,182]	[1,580]	[1,675]	[1,670]	[1,650]	[1,640]	decom-	[1,350]	decom-	[1,350]	[1,610]	[1,600]	[1,590]	[1,570]	[1,550]	[1,530]	[1,480]
ΔH_v , cal. mole ⁻¹	[61,000]	[41,000]	[40,000]	[40,000]	[41,000]	[41,000]	poses	[40,000]	poses	[40,000]	[40,000]	[40,000]	[41,000]	[41,000]	[40,000]	[40,000]	[38,000]
ΔS_v , cal. mole ⁻¹ deg. ⁻¹	52	26	24	24	25	25	-	22	-	22	25	25	25	26	26	26	25
Crystal form and lattice	hexa- gonal	β	ortho- hombic ^a	α	α	α	β	-	-	-	β	-	β	β	β'	β'	β'
Heat of solution, kcal. mole ⁻¹	-	-64.0	-48.0	-49.0	-49.9	-51.6	-53.8	-	-	-	-60.3	-	-60.4 ^b	-61.1	-61.5	-62.6	-66.0
ΔH_f , kcal. mole ⁻¹	-	-143.2	-167.4	-163.4	-161.5	-158.3	-158.3	-	-	-	-147.6	-	-144.5	-141.5	-140.1	-137.8	-133.2
				-161.4	-162.0		-153.4						-144.2				

次の内容が記載されている。

1. Table 2-1 PROPERTIES OF THE CHEMICAL ELEMENTS
各種元素の原子量、比重、融点、沸点、比熱、熱伝導率の表
2. Table 2-2 ADDITIONAL PROPERTIES OF THE CHEMICAL ELEMENTS
各種元素の潜熱、熱膨張率、電離電圧、熱中性子吸収断面積の表
3. Table 2-5 VAPOR PRESSURE OF THE ELEMENTS
1mmHg~40atmにわたる各種元素の蒸気圧と温度の関係
4. Table 2-16 ELECTRICAL RESISTIVITY AND TEMPERATURE COEFFICIENTS OF ELEMENTS
各種元素の抵抗率および抵抗温度係数
5. Table 2-32 VAPOR PRESSURE OF MERCURY
-30°C~400°Cの範囲の水銀の蒸気圧表
6. Table 2-33 RELATIONSHIP BETWEEN VAPOR PRESSURE AND TEMPERATURE FOR SOME ELEMENTS
10⁻⁶~1mmHgにおける元素の蒸気圧と温度の関係
7. Table 2-37 IONIZATION POTENTIALS OF THE ELEMENTS
各種元素の電離電圧 (I~VIII)
8. Table 2-39 ELECTRON WORK FUNCTIONS OF THE ELEMENTS
各種元素の測定方法別仕事関数 (文献数 143)
9. Table 3-9 HEATS AND FREE ENERGIES OF FORMATION, ENTROPIES, AND HEAT CAPACITIES OF ELEMENTS AND INORGANIC COMPOUND
各種元素および無機化合物の熱力学的性質
10. Table 3-13 ELECTRICAL RESISTIVITY OF THE ALKALI METALS
11. Table 3-15 MELTING POINTS OF METALLIC COMPOUNDS
各種金属の臭化物、塩化物、沃化物などの融点

次の内容が記載されている。

- 12. PHYSICAL CONSTANTS OF INORGANIC COMPOUNDS P. 4-36~4-114
各種元素および無機化合物の熱力学的性質
- 13. PHYSICAL PROPERTIES OF THE RARE EARTH METALS P. 4-114~4-121
レアアース金属の熱力学的、電気的、磁気的性質等について14の表に記載されている。
- 14. THERMAL CONDUCTIVITY OF THE ELEMENTS P. 4-146~4-149
各種元素の熱伝導率
- 15. VAPOR PRESSURE OF THE METALLIC ELEMENTS P. 5-80~5-81
各種金属元素の蒸気圧を数式で表わす場合の係数

原子及び化合物の密度、蒸気圧、沸点等が記載されている。

VAPOR PRESSURE—ELEMENTS

VAPOR PRESSURES OF P, S, SE, TE AND THE HALOGENS

ALAN W. C. MENZIES

THE CRYSTALLINE STATE

$$\log_{10} p = \frac{0.05223A}{T} + B; p \text{ in mm } \left(= \frac{1}{760} A_p \right); t \text{ in } ^\circ\text{C}, T = t + 273.1$$

Br, BROMINE (16, 18, 31)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±5%		±5%
(-95)	(0.0022)	-45	1.83
-90	0.0052		±3%
-85	0.0117	-40	2.98
-80	0.0251	-35	4.77
-75	0.0513	-30	7.45
-70	0.102	-25	11.4
-65	0.192	-20	17.1
-60	0.357	-15	25.2
-55	0.628	-10	36.6
-50	1.09	-7.3*	44.4

* M. P.

CL, CHLORINE (16)

A = -29 293; B = 9.950; accuracy, ±10%; range, -154 to -103°C

I, IODINE (1, 2, 14, 31)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±5%		±1%
-50	0.037	40	1.03
-40	0.049	50	2.16
-30	0.080	60	4.31
-20	0.0030	70	8.22
-10	0.0099	80	15.1
	±1%	90	26.8
0	0.0299	100	45.5
+10	0.0808	110	74.9
20	0.202	114.15*	90.1
30	0.471		

* M. P.

P, PHOSPHORUS (7, 24, 36)

For white P: A = -63 123; B = 9.6511; range, 20 to 44.1°C (M. P.); error ± < 10%.

For violet P: A = -108 510; B = 11.0842; range, 380 to ca. 590°C; accuracy ±5% above 500°C.

S, SULFUR (13, 34)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
50	0.0002	90	0.0049
60	0.0004	100	0.010
70	0.0010	110	0.021
80	0.0023	114.5*	0.028†

* M. P. † ±10%

SE, SELENIUM (10)

Hexagonal form

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±10%		±10%
195	0.0010	210	0.0032
200	0.0015	215	0.0047
205	0.0022	217.4*	0.0055

THE LIQUID STATE UP TO ONE ATMOSPHERE

Br, BROMINE (4, 18, 28, 31)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±2%		±2%
-7.3*	44.4	30	264
-5	50.5	35	324
0	65.9	40	392
+5	85.3	45	472
10	109	50	564
15	138	55	670
20	173	58.78†	760
25	214	(60)	(793)
		302‡	

* M. P. † ±0.03° ‡ Crit.

CL, CHLORINE (16, 19, 21, 29, 38)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±5%		±3%
-103*	8.9	-50	363
-100	11.8	-40	594
-90	27.8		±1%
-80	58.7	-34.6	760
	±3%		±2%
-70	115	-30	935
-60	211	-20	1398

* M. P.

I, IODINE (31, 32, 37)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±2%		±2%
114.15	90.1	160	394
115	92.9	170	521
120	111	180	679
130	157	184.35*	760
140	217	190	(869)
150	294	563.4†	

* ±0.1° † ±3°crit.

P, PHOSPHORUS (20, 24, 25, 30, 36)

$\log_{10} p, \text{mm} = 11.5694 - \frac{2898.1}{T} - 1.2566 \log_{10} T$; range, 44.1 to 635°C; accuracy of *p* = ±7% except near the B. P., 279.7°C, where it is ±2% (equivalent to ±1°).

S, SULFUR (3, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 15, 17, 26, 27, 32, 33, 34, 39)

<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm	<i>t</i> , °C	<i>p</i> , mm
	±10%	250	12
114.5 M. P.	0.028	260	16
120	0.040	270	21
130	0.074	280	28
140	0.13	290	37
150	0.22	300	48
160	0.37	310	60
	±7%	320	76
170	0.50	330	95
180	0.91		±5%
190	1.4	340	118
200	2.1	350	146
210	3.1	360	179
220	4.4	370	218
230	6.3	380	263
240	9.7		

すべての元素について

原子構造と結晶化学的性質、核・物理的性質、熱力学的および熱的性質、電気的および磁氣的性質、光学的性質、機械的性質について広範なデータが表の形にまとまっている。

熱伝導度

原子番号	元素	熱伝導度, λ W/(m·K)	温度, K	注	文献	
1	H ₂	0,1717	273	圧力 101325 N/m ² で	[523]	
		0,347	673			
		0,498	1073			
		0,569	1273			
2	He	0,143	273	圧力 101325 N/m ² で	[524]	
		0,213	473			
		0,274	673			
		0,328	873			
		0,379	1073			
		0,428	1273			
3	Li	1,5	9	—	[525]	
		6,0	20			
		70,0	60			
		90,0	100			
	4	Be	71,15	293	純度 99,4 %	[254]
			46,00	473		
			47,25	673		
			47,70	773		
			48,35	1073		
			179,0	373			不純物: 1.264 % (Al+Mg)	[526, 527]
152,0	573					
119,0	773					
93,0	973					
5	B (β)	8,1	3	密度 $d_{293} = 2,289 \text{ g/cm}^3$	[528]	
		39,0	6			
		86,0	10			
		186,0	20			
		262,0	30			
		313,0	45			
		328,0	50			
		323,0	60			
		200,0	100			
		55,0	200			
		26,0	300			
		9,5	1000			不純物(%): 0.2 Fe; >0,001Mg; 0,07Al; 0,05Si; 0,37C	[529]

表 3. 1 元素の物性値表

	原子番号	原子量	密度 g/cm ³	電子比熱 MJ/T ²	線膨張率	熱伝導度	熱伝導度(温度K) ⁽¹⁾ W/m·K	電気伝導度	電気伝導度(温度K) ⁽²⁾ mho/cm
Na	11	22.98	0.966	1.4	C5	C5	57.15(1073K)	C5	6.0 × 10 ⁶ (573)
Hg	80	200.59	14.393	1.81	C5	C5	16.8 (973K)	C5	0.725 × 10 ⁶ (773)
Ne	10	20.18	1.442		C5	C5	0.106(873K)		
Ar	18	39.94	1.656		C5	C5	0.0297(673K)		
Kr	36	83.80	3.004		C5	C5	0.209 (100K)		
Xe	54	131.3	3.571		C5	C5	0.228(120K)		
Li	3	6.93	0.536	1.8	C5	C5	48.35(1073K)	C5	9.15 × 10 ⁶ (373)
Cs	55	132.91	1.959		C5	C5	0.0189 (973K)	C5	4.81 × 10 ⁶ (293)
Th	90	227	11.724		C5	C5	35.8 (580K)	C5	1.57 × 10 ⁶ (1073)
Fe	26	55.84	7.872	5.0	C5	C5	32.5 (1073K)	C5	0.74 × 10 ⁶ (1273)
Ga	31	69.72	5.908	0.6	C5	C5	29.3 (273K)	C5	3.84 × 10 ⁶ (303)
In	49	114.82	7.286	1.67	C5	C5	50.0 (900K)	C5	11.5 × 10 ⁶ (353)
Tl	81	204.37	11.87		C5	C5	38.9 (293K)	C5	1.14 × 10 ⁶ (1073)
Sn	50	118.69	5.769		C5	C5	29.3 (1000K)	C5	1.47 × 10 ⁶ (1273)
Pb	82	207.19	91.34	3.0	C5	C5	15.9 (1000K)	C5	0.8 × 10 ⁶ (1273)
Sc	21	44.95	2.988		C5	C5	15.5 (291K)	C5	0.476 × 10 ⁶ (1273)
Nd	60	144.24	7.007		C5	C5	12.9 (300K)	C5	0.726 × 10 ⁶ (1173)
Dy	66	162.5	8.559		C5	C5	11.5 (300K)	C5	0.595 × 10 ⁶ (1230)
Ho	67	164.93	8.799		C5	C5	22.0 (300K)	C5	0.55 × 10 ⁶ (1113)
Tm	69	168.93	9.318		C5	C5	24.0 (300K)		
I	53	126.90	4.934					C5	7.7 × 10 ¹⁴ (273)
Br	35	79.91	4.073						

注(1) データ集(C-5)による。
Ne, Ar, Kr, Xeの他は固相の熱伝導率である。

注(2) データ集(C-5)による。
固相の電気伝導度である。

表 3. 2 熱力学データ (1)

	C_p°	S°	ΔH_f	ΔG_f	K_p	$\frac{(\Delta F - \Delta H_{298})}{T}$ (E)	ΔH_{298}
Na	B1, C5	B1, C5	B1	B1	B1		
Hg	B1, C5	B1, C5	B1	B1	B1		
Ne		C5					
Ar		C5					
Kr		C5					
Xe		C5					
Li	B1, C5	B1, C5	B1	B1	B1		
Cs	B1, C5	B1, C5	B1	B1	B1		
Th							
Fe	B1	B1	B1	B1	B1		
Ga	C5	C5					
In	C5	C5					
Tl	C5	C5					
Sn	C5	C5					
Pb	B1	B1, C5	B1	B1	B1		
Sc	C5	C5					
Nd	C5	C5					
Dy	C5						
Ho	C5						
Tm	C5						
LiI						B2	B2
CsI						B2	B2
ThI ₄						B2	B2
FeI ₂						B2	B2
GaI ₂						B2	B2
InI						B2	B2
TlI						B2	B2
SnI ₂						B2	B2
SnBr ₂						B2	B2
PbI ₂						B2	B2
ScI ₃						B2	B2
NdI						B2	B2
DyI ₃						B2	B2
DyBr ₃						B2	B2
HoI ₃						B2	B2
HoBr ₃						B2	B2
HgI ₂	B1	B1	B1	B1	B1	B2	B2
HgBr ₂	B1	B1	B1	B1	B1	B2	B2
I	B1	B1	B1	B1	B1		
Br	B1	B1	B1	B1	B1		
I ₂	B1, C5	B1	B1	B1	B1	B2	B2
Br ₂	B1	B1	B1	B1	B1	B2	B2

*ここで ΔF は ΔG (Gibbs の標準生成自由エネルギー) と同一である。
データ集 (B-2) では ΔF を使用している。

表 3. 3 熱力学データ (2)

	C _p ^o (1)		S _T ^o (2)	ΔH (3)	ΔF (4)	$\frac{(\Delta F - \Delta H_{298})}{T}$ (5)	ΔH ₂₉₈ ^o (Kcal/mol) (6)
	a	b × 10 ³					
Na	7.5		42.73	23.68	3.529		
Hg	6.61		47.81				
Ne			37.48				
Ar			43.0				
Kr			45.2				
Xe			46.54				
Li	3.05	8.60	39.16				
Cs	7.62		47.96				
Th	6.4	3.06					
Fe	4.18	5.92	50.17				
Ga	6.24		47.87				
In	7.5		48.16				
Tl	5.26	3.46	49.24				
Sn	7.3		48.01				
Pb			47.90				
Sc	6.0	1.1	47.91				
Nd	7.2	2.49	52.64				
Dy	7.32	2.2					
Ho	7.05	2.2					
Tm	7.07	2.1					
LiI						16.1	-72.5
CsI						23	-91.3
ThI ₄						73	-191
FeI ₂				4.35	-8.02	30	-45
GaI ₂						37	-50
InI						17	-33
TlI						14.1	-37.0
SnI ₂						34	-53.8
SnBr ₂						32	-68.7
PbI ₂						30.6	-56.5
ScI ₃						55	-149
NdI ₃						56	-180
DyI ₃						58	-166
DyBr ₃						53	-209
HoI ₃						58	-164
HoBr ₃						53	-207
HgI ₂				-37.82	-10.12	39.2	-40.2
HgBr ₂						37.9	-48.0
I			49.20	18.41	5.775		
Br			47.85	23.48	10.27		
I ₂	41.58	11.9					
Br ₂							

- (1) データ集 (C-5) による。 C_p = a + bT (mol · deg)
- (2) データ集 (C-5) による。
 気体元素の1000Kでのエントロピー (g · atom · deg)
- (3) データ集 (B-1) による。 1000k の値 (REFERENCE 状態に注意)
- (4) データ集 (B-1) による。 1000k の値 (REFERENCE 状態に注意)
- (5) データ集 (B-2) による。 1000K の時の値 (cal / deg)
- (6) データ集 (B-2) による。

表 3. 4 熱力学データ (3)

	ΔH_{298} (kcal/mol)	融点 (K)	沸点 (K)	ΔH_m cal/mol	ΔS_m	ΔH_v cal/mol	ΔS_v
LiI		(713)	(1444)	(1420)	(2.0)	(40772)	(28.2)
CsI		(894)	(1553)	(2500)	(3.0)	(35929)	(23.1)
ThI ₄	-191	839	1100	8000	9.5	31500	28
FeI ₂		(860)	(1100)	(7000)	(8)	(25000)	(23)
GaI ₃		(485)	(622)	(3900)	(8)	(16200)	(26.1)
InI	-33	624	988			21500	
TlI	32.6	713	1096	3125	4.4		
SnI ₂		593	987	3000	5.1	24000	24
SnBr ₂		(505)	(912)	(1720)	(3.4)	(23500)	(26)
PbI ₂		(685)	(1145)	(5970)	(8.7)	(24846)	(21.7)
ScI ₃		1237	1182	18000	15	61000	52
NdI ₃		(1048)	(1640)	(8000)	(8)	(41000)	(25)
DyI ₃		1228	1590	10000	8	41000	25
DyBr ₃		(1154)	(1750)	(9000)	(8)	(44000)	(25)
HoI ₃		1283	1570	10000	8	41000	26
HoBr ₃		(1187)	(1740)	(10000)	(8)	(43000)	(25)
TmI ₃		1288	1530	10000	8	40000	26
TmBr ₃		(1225)	(1710)	(10000)	(8)	(43000)	(25)
HgI ₂		(523)	(627)	(4500)	(8.6)	(14263)	(22.7)
HgBr ₂		(514)	(592)	(3960)	(7.7)	(14080)	(23.8)
I ₂							
Br ₂							

ΔS_m 、 ΔS_v の単位は cal/mol, K

- (1) データ集 (C-1) に基づく。
- (2) 括弧内の数値はデータ集 (B-2) に基づく。

(1) マーク (C-2) に基づく。
 (2) マーク (C-2) に基づく。
 (3) マーク (B-1) に基づく。
 (4) マーク (B-1) に基づく。
 (5) マーク (B-2) に基づく。
 (6) マーク (B-2) に基づく。

表 3. 5 蒸気圧データ (1)

	蒸気圧 (ATM.) になる温度 (K)						T _m (K)	温度数点の蒸気圧
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	1		
Na	510	558	623	705	813	1187	371	C5, B2
Hg	287	316	351	394	449	634	234	C5, B2
Ne								C5
Ar								C5
Kr								C5
Xe								C5
Li	705	775	865	980	1130	1640	452	C5, B2
Cs	383	425	476	544	634	963	302	C5
Th	2250	2450	2700	2950	3300	4500	1968	C5
Fe	1550	1680	1837	2033	2277	3008	1812	C5, B2
Ga	1225	1350	1500	1690	1920	2700	303	C5, B2
In	1100	1210	1350	1510	1730	2440	430	C5, B2
Tl	795	870	965	1082	1235	1730	576	C5, B2
Sn	1300	1450	1600	1850	2150	3000	505	C5, B2
Pb	887	975	1088	1226	1408	2010	601	C5, B2
Sc	1540	1680	1850	2050	2300	3000	1670	C5, B2
Nd							1113	C5
Dy							1680	C5
Ho							1734	C5
Tm							1815	C5
I ₂	241	260	282	308	341	456	386	C5, B2
Br ₂								

* データ集 (B-2) に基づく
 数値は 蒸気圧が 10⁻⁶, 10⁻⁵, 10⁻⁴, 10⁻³, 10⁻², 1 (気圧) になる
 温度 (K) を示す。

(表 3. 6 蒸気圧データ (2))

元素	蒸気圧 (ATM.) になる温度				T _M	蒸気圧式 ⁽²⁾		
	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	1		A	B	C
LiI	894	985	1099	1444	713	-11344.3	-4.092	3.645
CsI	(895)	997	1128	1553	894	-10081.58	-3.252	19.746
ThI ₄	(730)	775	839	1110	839	-27174.16	-48.598	175.358
FeI ₂	(670)			(1100)	860	-6855.814		9.113
GaI ₃				(850)		-9436.874	-23.543	83.827
InI	(585)	(624)	707	988	624	-6671.847	-4.707	23.729
TlI	636	702	793	1096	713	-7671.973	-4.801	24.473
SnI ₂	(575)	640	725	987	593	-5443.805	0.051	8.244
SnBr ₂	542	605	680	912	505			
PbI ₂	674	743	832	1145	685			
ScI ₃	935	1002	1182		1218	-8674.264	12.629	-28.359
NdI ₃	(1000)	(1070)	(1210)	(1640)	(1048)	-75946.61	-135.058	480.0
DyI ₃	1000	1100	(1190)	(1590)	1228	27947.8	85.546	-285.705
DyBr ₃	(1050)	(1140)	(1290)	(1750)	1154			
HoI ₃	1000	1100	(1190)	(1570)	1283	27947.8	85.546	-285.705
HoBr ₃	(1050)	(1140)	(1290)	(1750)	1187			
TmI ₃	(985)	(1060)	(1180)	(1530)	1288	-51051.95	-83.684	301.211
TmBr ₃	(1050)	(1140)	(1280)	(1710)	(1225)			
HgI ₂	389	425	470	627	523			
HgBr ₂	371	405	444	592	514			
I ₂	282	308	341	456	386			
Br ₂								

(1) データ集 (B-2) に基づく。
 数値は蒸気圧が 10⁻⁴, 10⁻³, 10⁻², 10⁻¹, 1 (気圧) になる温度 (K) を示す。

(2) (1) のデータにより
 $\text{Log } P \text{ (トール)} = A/T + B \text{Log } T + C$ の式から
 A, B, C を決めた。

表 3. 7 分光学データ (1)

	主要発光波長 ⁽¹⁾ (nm)	電離電圧 (eV)	最低励起エネルギー (eV)	電子 ⁽²⁾ 配置	基底 状態 ⁽²⁾
Na	819.4, 616.0, 589.6, 589.0, 568.8, 515.3	5.14	2.10	3s	² S _{1/2}
Hg	546.1, 435.8, 404.6, 366.3, 365.0, 253.7	10.43	4.67	6s ²	¹ S ₀
Ne	640.2, 585.2, 540.0	21.56		2p ⁶	¹ S ₀
Ar	811.5, 750.4, 706.7, 696.5	15.76		3p ⁶	¹ S ₀
Kr	769.9, 766.5, 404.7, 404.4	14.0	9.9	4p ⁶	¹ S ₀
Xe	467.1, 462.4, 450.0	12.13	8.31	5p ⁶	¹ S ₀
Li	670.7, 610.3, 460.3, 323.2	5.39		2s	² S _{1/2}
Cs	894.3, 852.1, 459.3, 455.5	3.89	1.39	6s	² S _{1/2}
Th	401.9, 360.1, 353.8, 329.0	6.9		6d ² 7s ²	³ F ₂
Fe	374.6, 373.7, 372.0, 358.1,	7.90	0.86	3d ⁶ 4s ²	⁵ D ₄
Ga	417.2, 403.2	6.00		4p	² P _{1/2}
In	451.1, 410.1, 325.8, 325.6, 303.9	5.79	3.02	5p	² P _{1/2}
Tl	535.0, 377.5, 351.9, 322.9, 291.8	6.11	3.28	6p	² P _{1/2}
Sn	452.5, 326.2, 317.5, 303.4, 300.9	7.34	1.07	5p ²	³ P ₀
Pb	255.4, 255.3, 253.5, 253.4	7.42		6p ²	³ P ₀
Sc	402.3, 402.0, 391.1, 390.7, 364.2	6.56	1.46	3d4s ²	² D _{3/2}
Nd	430.4, 417.7, 395.1	6.31		4f ⁴ 6s ²	⁵ J ₄
Dy	421.1, 416.7, 407.7, 404.6, 400.0	6.82		4f ¹⁰ 6s ²	⁵ J ₈
Ho	389.1, 374.8, 293.6	6.9		4f ¹¹ 6s ²	⁴ J _{15/2}
Tm	376.2, 376.1, 346.2	6.6		4f ¹³ 6s ²	² F _{2/7}
I		10.45	6.77	5p ⁵	² P _{3/2}
Br		11.84		4p ⁵	² P _{3/2}
Na ⁺		47.29	41.7	2p ⁶	¹ S ₀
Hg ⁺		18.75		6s	² S _{1/2}
Ne ⁺		41.07		2p ⁵	¹ S ₀
Ar ⁺		27.6		3p ⁵	² P _{3/2}
Kr ⁺		24.56		4p ⁵	² P _{3/2}
Xe ⁺		21.2		5p ⁵	² P _{3/2}
Li ⁺		75.62		1s ²	¹ S ₀
Cs ⁺		25.1		5p ⁶	¹ S ₀
Th ⁺	414.1, 408.5, 395.7, 372.0, 361.7, 357.7	11.9		6d7s ²	² D _{3/2}
Fe ⁺	276.7, 263.1, 253.7, 240.4, 238.2	16.18	0.98	3d ⁶ 4s ²	⁶ D _{9/2}
In ⁺	230.6	18.86		5s ²	¹ S ₀
Tl ⁺		20.42		6s ²	¹ S ₀
Gd ⁺	454.0, 432.5, 379.1, 372.2, 361.0	12.0		4f ⁷ 5d6s	¹⁰ D _{5/2}
Sn ⁺		14.63		5p	² P _{1/2}
Pb ⁺	220.4	15.03		6p	² P _{1/2}
Sc ⁺	424.7, 367.8, 363.1, 334.3, 306.5, 282.7	12.89	0.59	3d4s	³ D ₁
Nd ⁺	524.9, 513.0, 430.3, 415.6, 410.9, 401.2	12.09		4f ⁴ 6s	⁶ J _{7/2}
Dy ⁺	407.8, 396.8, 364.5, 352.3	12.60		4f ¹⁰ 6s	⁶ J _{17/2}
Ho ⁺		12.7		4f ¹¹ 6s	⁵ J ₉
Tm ⁺	328.6, 326.7, 323.7, 250.9,	12.4		4f ¹³ 6s	³ F ₄
I ⁻		19.0		5p ⁴	³ P ₂
Br ⁻		21.6		4p ⁴	³ P ₂

(1) データ集 (A-10) に基づく。

(2) データ集 (C-5) に基づく。

表 3. 8 分光学データ (2)

	発光波長	遷移確率	エネルギー レベル	準位の 電子配置	統計的 重率(g)
Na	A1, A4, A6, A10	A4, A5, A6	A1, A7, A8, A11	A7	A7
Hg	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9, A11	A7	A7
Ne	A6, A10	A6	A8		
Ar	A6, A10	A5, A6	A8		
Kr	A6, A10	A6	A7, A9	A7	A7
Xe	A6, A10	A6	A7, A9	A7	A7
Li	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A8		
Cs	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A11	A7	A7
Th	A1, A4, A6, A10	A4	A1		
Fe	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9	A7	A7
Ga	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9	A7	A7
In	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9, A11	A7	A7
Tl	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9, A11	A7	A7
Sn	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9	A7	A7
Pb	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A9	A7	A7
Sc	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1, A7, A8	A7	A7
Nd	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1		
Dy	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1		
Ho	A1, A4, A6, A10	A4	A1		
Tm	A1, A4, A6, A10	A4, A6	A1		
I	A10		A7	A7	A7
Br	A10		A7	A7	A7
Na ⁺	A4,	A4	A7	A7	A7
Hg ⁺	A4	A4	A7, A8	A7	A7
Ne ⁺					
Ar ⁺					
Kr ⁺			A7	A7	A7
Xe ⁺			A7	A7	A7
Li ⁺	A4	A4	A8		
Cs ⁺	A4	A4	A7	A7	A7
Th ⁺	A4	A4			
Fe ⁺	A4, A10	A4	A7	A7	A7
In ⁺	A4	A4	A7, A8	A7	A7
Tl ⁺	A4	A4	A7	A7	A7
Gd ⁺	A4	A4			
Sn ⁺	A4	A4	A7	A7	A7
Pb ⁺	A4, A10	A4	A7	A7	A7
Sc ⁺	A4, A10	A4	A7	A7	A7
Nd ⁺	A4	A4			
Dy ⁺	A4	A4			
Ho ⁺					
Tm ⁺	A4	A4			
I ⁻	A10				
Br ⁻	A10				

(1) ナーミン (A-10) に基づく。

(2) ナーミン (C-5) に基づく。

表 3. 9 分光学データ (3)

	$f_{lj}^{(1)}$	$f_{lj}^{(2)}$	Observed g-Value	Stark-broadening parameters
Na	A12	A12	A7	A12
Hg			A7	
Ne	A12			A12
Ar	A12			
Kr			A7	
Xe			A7	
Li	A12			A12
Cs			A7	A12
Th				
Fe			A7	
Ga			A7	
In			A7	
Tl			A7	
Sn			A7	
Pb			A7	
Sc			A7	
Nd				
Dy				
Ho				
Tm				
I			A7	
Br			A7	
Na ⁺			A7	A12
Hg ⁺			A7	
Ne ⁺	A12			A12
Ar ⁺	A12	A12		A12
Kr ⁺			A7	
Xe ⁺			A7	
Li ⁺	A12			A12
Cs ⁺			A7	
Th ⁺				
Fe ⁺			A7	
In ⁺			A7	
Tl ⁺			A7	
Gd ⁺				
Sn ⁺			A7	
Pb ⁺			A7	
Sc ⁺			A7	
Nd ⁺				
Dy ⁺				
Ho ⁺				
Tm ⁺				

(1) Absorption oscillator strength for visible line を示す。

(2) Absorption oscillator strength for ultraviolet line を示す。

<光源システム関連情報研究調査委員会報告書>

Start-processing parameters	Observed g-value	Intensity	Wavelength	Element
A12	A7	A12	A12	Na
A12	A7		A12	Be
A12			A12	He
A12	A7		A12	Ar
A12	A7		A12	Kr
A12	A7		A12	Xe
A12	A7		A12	Li
A12	A7		A12	Ca
	A7			Th
	A7			Fe
	A7			Ga
	A7			In
	A7			Tl
	A7			Nb
	A7			Dy
	A7			Ho
	A7			Tm
	A7			I
	A7			Br
A12	A7			As
A12	A7			Hg
A12	A7			We
A12	A7	A12	A12	Ar
	A7			Kr
	A7			Xe
A12	A7		A12	Li
	A7			Ca
	A7			Th
	A7			Fe
	A7			In
	A7			Tl
	A7			Ga
	A7			Sn
	A7			Pb
	A7			Sc
	A7			Nb
	A7			Dy
	A7			Ho
	A7			Tm

4. ランプ管壁材料に関する データベース化試行検討

1993. 3. 23

光源システム関連情報研究調査委員会
管壁材料班

(1) Absorption oscillator strength for visible line を示す。
(2) Absorption oscillator strength for ultraviolet line を示す。

4-1. はじめに

以下は、本ワーキンググループ（管壁材料班）がランプ管壁材料に関するデータベース化に関して検討した結果である。最終的には、データベース化の対象をはっきりさせること、ならびに今後のデータベース化のため基礎データを積み上げることに重点を置き、データベース化へ向けたデータの蓄積とデータ解説を行った。そして補足的ながら、データベース化を試みた。

4-2. データの収集、分類

ランプ管壁材料に関して、データの加工性（蓄積、検索、操作性など）について調査するため、データの収集・分類を行った。

4-2-1. 管壁材料の範囲

ランプ管壁材料のうち、低圧放電灯や高圧放電灯に用いられるランプ容器を中心に、

- 1) ソーダ石灰ガラス
- 2) 石英ガラス
- 3) ホウケイ酸ガラス
- 4) アルミナ

のガラス・セラミック材料を選び、それと平行して

- 5) カタログ情報
- 6) 文献情報（最終的に文献情報データベースに統一）

をデータベース化の項目範囲に取り上げた。

ここで、5) カタログ情報は研究者や技術者がメーカーの最新情報を網羅的に把握できることを意図したものであり、6) 文献情報は最終的にデータの出典を明らかにすることを目的としたものである。

4-2-2. 物性データの種類

物性データは、大きく次のような項目で区分した。

- A) 構造一般（組成、分類、密度、表面張力、分子量など）
- H) 熱的性質（融点、沸点、粘性、蒸気圧、線膨張係数、比熱、熱伝導率など）
- E) 電気的性質（電気伝導度、固有体積抵抗、耐電圧、比誘電率など）
- M) 機械的性質（硬度、引張強度、圧縮強度、ヤング率、体積弾性率など）
- O) 光学的性質（透過率、反射率、屈折率、吸収係数など）
- C) 化学的性質（不純物濃度、OH含有量、耐食・反応性、溶解度など）

4-2-3. データのまとめ

各種管壁材料に対する物性データのまとめ方はいろいろであり、そのすべてを紹介することはできないが、最もまとまったものの1つが米国コーニング社製品カタログにあるガラスの諸特性表（表4.2.1）であるように思われる。データベース化のためのデータ形式

の1つとして参考にした。

表4.2.2は、各種管壁材料（ソーダ石灰ガラス、石英ガラス、ホウケイ酸ガラスならびにアルミナ）とそれに付随するカタログ情報と文献著者名を縦軸に、各種物性項目を横軸にとり、研究者、技術者など利用者の欲する物性データの所在が一目で分かるようにしたものである（検討経過資料）。後に述べるデータベース化の試行のため、石英ガラスについてはさらに表4.2.3に示すようにまとめ直した。

データベース化を考えると、実際に使う人が使いやすいようにデータを整理し、データ構造を検討する必要がある。そのために、まずは各種管壁材料に関する個々の具体的データを収集した。

以下に、ランプ管壁材料として使用頻度の高いソーダ石灰ガラスと石英ガラスに関し、収集したデータの一部を紹介する。

4-3. ソーダ石灰ガラス

電球や蛍光灯の管壁材料として用いられるソーダ石灰ガラスの一般的物性、ならびにとくに蛍光灯の性能に関わる性質について概説する。図表データはおもに上田 清、宮崎雄一郎 共著“硝子（上、下巻）”¹⁾より引用し、データ解説は成瀬 省著“ガラス工学”²⁾や山根³⁾らに依った。

(1)分類・製法

ソーダ石灰ガラスは多成分系ガラスの代表で、 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot 5\text{SiO}_2$ を中心とした組成をもつ。成分範囲は SiO_2 65~75%、 Al_2O_3 0.5~4%、 Fe_2O_3 <2%、 CaO 5~15%、 MgO 0.5~4%、 Na_2O 10~20%である。ソーダ灰、石灰石、ケイ砂を主原料、苦灰石、アルミナを副原料とし、熔融温度1400~1500℃、作業温度1100~1250℃でつくられる⁴⁾。

(2)構造

網目形成酸化物のMe-O単結合強度がほぼ同じ酸化物であっても、ガラス中の陽イオンの酸素配位数やMe-O-Me結合角などの相違がガラス構造の違いとなって物性データに表れる。ソーダ石灰ガラスでは、さらに中間酸化物や網目装飾酸化物が加わりガラス構造を複雑にする。 SiO_2 にアルカリ酸化物（例えば Na_2O ）を添加すると非架橋酸素を生じるとともに、Si-O原子間距離を増す。このことは、ガラスの粘度や結晶化傾向などSi-O-Si結合の強度と関連した性質に影響を及ぼす。

ソーダ石灰ガラスを始めとする多成分系ガラスの物性データの中には、構成成分による加成性の成り立つ場合が多い。密度（比重）もその1つで、Hugginsの比重計算法⁵⁾がかなり精度のよい結果を与えるとされる。図4.3.1にその計算例と、成分比率による密度変化を示す。また、図4.3.2に Na_2O - CaO - SiO_2 系ガラスの成分と密度との関係、図4.3.3~図4.3.5に酸化物による密度変化を示す。常温時の比重が与えられていれば、軟化点付近までの比重はそのガラスの線膨張係数から計算によって求めることができる。さらに高

温の比重は実測による。Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの高温時における密度⁶⁾を表4.3.1に示す。

(3) 機械的性質

固体の弾性率は、それに作用する応力の種類によって、

ヤング率, E : 圧縮または引張り応力と、その応力によって生ずる力の方向の変形(歪)との比

体積弾性率, K : 圧力と、その圧力によって体積変化を生じた場合の体積歪との比

剛性率, G : 剪断応力と、それによって生ずる剪断歪との比

ポアソン比, σ : 圧縮または引張り応力が作用したとき、その力の方向と直角方向に生ずる横歪と力の方向に生ずる縦歪との比

といった定義による係数が使用される。これら係数の間には、次の関係がある。

$$E = \frac{9KG}{G+3K} = 3K(1-2\sigma) = 2G(1+\sigma)$$

Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの弾性率を表4.3.2に示す。ClarkおよびTurner⁷⁾の研究ならびにGehlhoffおよびThomas⁸⁾の研究によれば、SiO₂をNa₂O, K₂Oで置換すれば弾性を減じ、R₂O およびR₂O₃で置換すればいずれも弾性を増す。各種多成分系ガラスの抗張力および圧縮強度を表4.3.3に示す。

硬度は、脆さと同様に一定の定義に統一することは困難であるが、一般にKnoop硬度(ダイヤモンドコーンによる押込法)が用いられることが多い。普通のソーダ石灰ガラスのKnoop硬度は540である。多成分系ガラスの硬度を表4.3.4ならびに表4.3.5(Mohs硬度)に示す。

(4) 熱的性質

固体中の原子のポテンシャルエネルギー曲線は非対称であり(調和振動でない)、それゆえに温度の上昇とともに平均原子間距離が増大する。この現象が熱膨張であり、温度上昇1度当たりの体積の増加の割合を熱膨張率と呼び、とくに長さの増加割合を線膨張係数または単に膨張係数と呼ぶ。結合エネルギーの大きい物質ほど上記曲線の対称性が高く、熱膨張率は小さい。Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの線膨張係数を表4.3.6、表4.3.7に、多成分系ガラスの線膨張係数を表4.3.8に示す。多成分系ガラスの膨張係数は、ガラスを構成する全原子の振動状態の平均値として反映されるため、構成成分による加成性が成り立つ。この成分因子に関する提案は多く⁹⁾、その一部を表4.3.9に示す。各種酸化物の線膨張係数に及ぼす影響を図4.3.6に示す。

物質の熱の伝えやすさを熱伝導率といい、ソーダ石灰ガラスでは100°Cにおいて0.004(cal/s/cm/°C)である。他の材料を含む熱伝導率を表4.3.10に示す。金属に比べて無機材料の熱伝導率が1桁低いのは、無機材料では自由電子による熱伝播がなく、材料を構成する原子の振動(フォノンによる伝導)に由来するためである。また、無機材料の中でも

結晶に比べてガラスの熱伝導率が1桁低いのは、ガラスは結晶に比べ原子配列が乱れているためにフォノンの長距離移動が阻止されるためである（フォノンの平均自由行程が短い）。多成分系ガラスの熱伝導率についても構成成分による加成性の成り立つことが、Winkelmann¹⁰⁾やRuss¹¹⁾によって提案されている。Russによる熱伝導率計算のための係数を表4.3.11に、試験ガラスの熱伝導率を表4.3.12に示す。

熱伝導率をガラスの比重、比熱で除したものは、熱拡散率と呼ばれる。熱拡散率と温度の関係を図4.3.7に示す。

固体の比熱は、外界の温度と平衡状態にある固体中の原子や分子の振動状態の平均値として反映され、低温では温度に依存するが、高温では温度によらず一定で、どの物質でも1グラム原子量当たり6calである。ガラスの比熱は、昇温途上ガラス転移点付近で急激な増減が認められる。工学的にはSharpおよびGinther¹²⁾による実験式（表4.3.13）が有効である。ソーダ石灰ガラスを含む実用ガラスの平均比熱を表4.3.14¹³⁾ならびに表4.3.15に示す。

ランプ管壁材料を扱う上で、耐熱衝撃性を知ることは重要である。熱衝撃抵抗Rは、熱伝導率 λ と引張り強度 σ に比例し、線膨張係数 α とヤング率Eに逆比例する。

$$R \propto \lambda \sigma / (\alpha E)$$

(5) 粘性と表面張力

Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの温度による粘度変化を図4.3.8に示す。粘度の温度特性は、Fulcher¹⁴⁾による粘度式

$$\log \eta = -A + B / (T - T_0)$$

が実測値とよく一致する。A、BおよびT₀は定数であり、代表的にはLakatosら¹⁵⁾によるガラス構成成分の加成式で求めることができる¹⁶⁾。特性温度は、作業温度（10³～10⁴poise）、軟化点（4×10⁷poise）、徐冷点（10¹³poise）、歪点（4×10¹⁵poise）といったように、粘度によって定義づけられる。ガラス転移点の粘度は約10¹⁴poiseである。多成分系ガラスの徐冷点と作業温度を表4.3.16に、Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの徐冷点を表4.3.17に示す。酸化物置換による粘度変化を図4.3.9に示す。実用的データとして、ガラス管がつぶれる温度を表4.3.18に示す。

ガラスの表面張力は、熔融時の混合作用、均質化や成形およびガラス細工の操作に微妙な影響を及ぼす。Na₂O-CaO-SiO₂系および各種副成分を含むソーダ石灰ガラスの表面張力の測定が、Washburn¹⁷⁾他多くの研究者によって行われた。図4.3.10～図4.3.12ならびに表4.3.19は、そうした結果の一部である。表面張力の構成成分による加成性は、Lyon¹⁸⁾およびDietzel¹⁹⁾によって提案されている（表4.3.20参照）。

(6) 電気的性質

ガラスの電気的性質には、電圧をかけた時の電気の流れやすさを示す電気伝導度、あるいはその逆数の比抵抗、電圧下で電荷を帯びた粒子が分極することに関係した比誘電率、

分極の時間的な遅れによって生じる誘電損失などがある。

多成分系ガラスの電気伝導度と誘電率を表4.3.21に、ソーダ石灰ガラスを含む実用ガラスの比抵抗の温度依存性^{20) 21) 22)}を図4.3.13に示す。ガラスの比抵抗の温度依存性が金属のそれと逆になるのは、自由電子によらない粒子（アルカリイオンや遷移金属を含むガラス中の電子など）によって電気が運ばれるからである。その他、実用ガラスの比誘電率、損失係数、破壊電圧の温度依存性²⁰⁾を図4.3.14～図4.3.16に示す。

(7) 光学的性質

ランプ管壁材料は可視域で高い透過率が望まれる。実用ガラスの透過率を図4.3.17に示す。吸収係数を決める因子には、物質に固有の吸収および散乱と、不純物や欠点によるものがあり、後者は除去可能である。物質に固有の吸収には、物質を構成する原子やイオンに属する電子による吸収（基礎吸収）と、原子やイオンの振動のエネルギー状態の他への遷移に基づく吸収（フォノンによる吸収）がある。物質に固有の光の散乱は、密度のゆらぎや組成のゆらぎからくる屈折率のゆらぎに起因し、光の波長の4乗に逆比例する。この散乱による損失は、通常ランプ管壁材料の目的には無視できる程度のものである。

不純物による吸収には、Fe, Ni, Co, Cuなどの遷移金属による（d電子の軌道に基づく）吸収と、水による吸収（Si-OH基のO-H間の振動；2.7 μ m付近）がある。また、 γ 線やX線など高エネルギーの放射線や紫外線の照射によって生じる着色中心による光の吸収（いわゆるソーラリゼーションなど）もある。

屈折率は、物質中において光と相互作用をおこす荷電粒子の種類とその密度によって定まるから、ガラス組成に依存する。電磁波である光が物質中を通過する時、電場と磁場が変動し荷電粒子（とくに電子）は強制振動を起こすが、その密度と振幅が大きいほど光の速度は小さくなり屈折する。屈折率の波長依存性は分散と呼ばれ、やはりガラス組成に依存する。単色光色に対する屈折率 n_F （水素F線：486.1nm）、 n_D （ナトリウムD線：589.8nm）、 n_C （水素C線：656.3nm）から、 $n_F - n_C$ を平均分散、 $(n_F - n_C) / (n_D - 1)$ を比分散、比分散の逆数をアッベ数と呼ぶ。ガラス成分と屈折率および分散との関係を表4.3.22、表4.3.23ならびに図4.3.18～図4.3.20に示す。

遷移金属（Fe, Ni, Co）やCe, Ndなどの希土類イオン、金属（Au, Ag, Cu）非金属（Se, P, CdS, CdSe）のコロイドなどの着色剤を積極的に添加して、色ガラスが得られる。各種着色剤による色を表4.3.24に示す。

これまでに述べた物性値の一部について、ガラス成分との関係を表4.3.25に示す。

(8) 化学的性質

高温、放電空間等にさらされるランプ管壁材料には、高い化学的耐久性が求められる。化学的耐久性の程度は、網目形成酸化物の種類や量（すなわち化学組成）、侵食液の種類や濃度、温度、ガラス表面状態に大きく左右される。

水によるソーダ石灰ガラスの侵食は、イオン交換によるアルカリ成分の溶出（第1段階；アルカリイオンの拡散速度が律速）と、それに伴って形成されるSiOH表面層の溶け落

ち（第2段階）の繰り返しによる。アルカリによるガラスの作用は、上記水による作用の第2段階そのものであり、溶液中のpHが9以上になるとSi-O結合の切断が著しくなる。

一方、HFを除く一般の酸のけい酸塩ガラスに対する作用は、上記水による作用の第1段階とほぼ同様であるが、アルカリイオンの溶出はより早い。しかし、pHは9を越えないため表面SiOH層の溶出はなく、その後のアルカリイオンの溶出は抑止される。けい酸塩ガラスの塩酸や硫酸、硝酸に対する耐久性が高いのはこのためである。酸はアルカリの他、 B_2O_3 、 Al_2O_3 、 PbO などの成分も溶出する。けい酸塩ガラスのフッ酸に対する耐久性は小さく（Si-O結合そのものがフッ素イオンにより切断される）、エッチングに利用される。

ガラスの風化は、水滴を原因に伴う場合が多い。ランプ管壁材料の長期間放置で問題になるのは、ガラス表面がくもり、さらには白濁化（結露した水分の蒸発によりガラスより溶出したアルカリイオンが水滴中で濃縮され、さらに空気中の炭酸ガスと反応して Na_2CO_3 を生成）することである。

ガラスの化学的耐久性を組成との関係でまとめると、次のとおりである。

- 1) アルカリ含有量の少ないガラスほど耐久性が高い（第1段階抑止）
- 2) SiO_2 含有量の多い（非架橋酸素の少ない）ガラスほど耐久性が高い（第2段階抑止）
- 3) 2成分系（ Na_2O-SiO_2 ）より3成分系（ $Na_2O-CaO-SiO_2$ ）の方が耐久性が高い
- 4) ソーダ石灰ガラスへの Al_2O_3 、 SnO_2 、 MgO 、 MnO_2 、 ZrO_2 、 TiO_2 などの添加は、耐水性が向上する²³⁾が、 Al_2O_3 の添加のし過ぎは耐酸性を落とす
- 5) 異種アルカリイオンの共存により耐水性が向上する（混合アルカリ効果）
- 6) ZrO_2 、 SnO 、 Cr_2O_3 などの添加により耐アルカリ性が向上する

ソーダ石灰ガラスに含まれる不純物には、原料や耐火物から持ち込まれるものと溶融雰囲気から持ち込まれるものがある。原料不純物のうち、ガラス成分を成すものは1%程度ならば問題はないが、鉄分は可視光を吸収してガラスを着色するので許容量が限られる。水分は原料、溶融雰囲気から不純物としてガラス中に混入し、粘度、電気伝導度、赤外透過率、失透などの物性に影響を及ぼす。それはSi-OHのようにガラス網目を切断している-OH基による²⁴⁾。図4.3.21は、 Na_2O-SiO_2 系ガラスの転移温度域における粘度の H_2O 含有量による変化を示したものである²⁵⁾。

以上で述べたように、ソーダ石灰ガラスを始めとする多成分ガラスの物性はガラス組成と密接に関連するが、Y. Suzuki²⁶⁾はこうした組成-物性データを中心に約9万件のデータを集積し、CD-ROM化した。牧島²⁷⁾はさらにガラスの材料設計に関してガラス組成から物性を推論し、また逆に物性から組成を推論するシステムを構築した。

引用文献

- 1) 上田清, 宮崎雄一郎; “硝子(上、下卷)”, 産業図書株式会社(1957)
- 2) 成瀬省; “ガラス工学”, 共立出版(1958)
- 3) 山根正之; NEW GLASS TECHNOLOGY “ガラスの基礎講座” **3**[1-4](1983), **4**[1-4](1984), **5**[1-3](1985), **5**[4](1986)
- 4) 玉虫文一他編; “理化学辞典(第3版)” p. 761 岩波書店(1971)
- 5) M. L. Huggins and K. H. Sun; J. Amer. Ceram. Soc., **26**, 4(1943), *ibid.*, **29**, 232(1946), M. L. Huggins; Ind. Eng. Chem., **32**, 1433(1940)
- 6) S. H. Li; Univ. Ill. Eng. Expt. Sta. Bull., **140**, (1924)
- 7) J. R. Clark and W. E. S. Turner; J. Soc. Glass Tech., **3**, 260(1919)
- 8) G. Gehlhoff and M. Thomas; Z. Tech. Physik., **7**, 105(1926)
- 9) 高橋健太郎; 窯協, **63**, [707], 142(1955)
- 10) A. Winkelmann; Ann. Physik. Chem., **49**, 401, (1893)
- 11) A. Russ; Sprechsaal, **15**, 907(1928)
- 12) D. E. Sharp and L. B. Ginther; J. Amer. Ceram. Soc., **34**, 260(1951)
- 13) C. W. Parmelee and A. E. Badger; Univ. Ill. Eng. Expt., Sta. Bull., **271**, (1934)
- 14) G. S. Fulcher; J. Amr. Ceram. Soc., **8**, 339(1925)
- 15) T. Lakatos, L-G. Johansson and B. Simmingsköld; Glass Tech., **13**, 88(1972)
- 16) 作花濟夫他編; “ガラスハンドブック” p. 645 朝倉書店(1975)
- 17) E. W. Burnbush, G. R. Shelton and E. E. Libman; Univ. Ill. Eng. Expt. Sta. Bull., **140**, (1924)
- 18) K. C. Lyon; J. Amer. Ceram. Soc., **27**, 186(1944)
- 19) A. Dietzel; Sprechsaal, **75**, 82(1942)
- 20) F. V. Tooley; “The Handbook of Glass Manufacture”, **2**, Books For Industry, 897 (1974)
- 21) N. F. Mott and E. A. Davis; “Electronic Processes in Non-Crystalline Materials”, Clarendon Press(1971)
- 22) S. G. Linsley, A. E. Owen and F. M. Hayatee; J. Non-Cryst. Solids, **4**, 208(1970)
- 23) H. Ohta and Y. Suzuki; “Chemical Durability of Glasses in the Systems $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O-R}_m\text{O}_n$ ”, Ceramic Bull., **57**, 602(1978)
- 24) H. Scholze; Glastechn. Ber., **32**, 142(1959)
- 25) J. E. Schelby and G. L. McVay; J. Non-Cryst. Solids, **20**, 439(1976)
- 26) Y. Suzuki; “A Glass Database System for Compact Disk”, Ceramic Bull., **70**[2], 219 (1991)
- 27) 牧島; “ガラス設計とエキスパートシステム”, NEW GLASS, **7**[4], 338(1992)

4.4. 石英ガラス*

本節では、ランプの管壁材料としての観点から、石英ガラスの物性を紹介する。とくに、ランプの性能や信頼性に影響する、石英ガラスの性質について概観する。また、石英ガラスの総説、データ集の文献を 1)~17) に示す。

(1) 分類

石英ガラスの分類とその用途を、表4.4.1¹⁸⁾に示す。石英ガラスは、透明石英ガラスと不透明石英ガラスに大別される。ここでは、ランプの管壁材料として使用される、透明石英ガラスについて述べる。

石英ガラスは、含有する不純物の種類や量によって、たいへん異なった性質を示す場合がある。粘性、電気伝導度、分光透過率、蛍光、耐放射線性などがこの例である。さらに、熱履歴によっても、粘性、密度、吸蔵ガスなどが異なってくる。このため、原料、製法、熱処理のちがいによって、石英ガラスを分類することが必要である。Hetherington^{19),20)}は、原料が天然か合成か、水を含むか否かによって、透明石英ガラスを4つのTypeに分類している。

Type I	天然無水石英ガラス	電気熔融
Type II	天然有水石英ガラス	酸水素炎熔融
Type III	合成有水石英ガラス	酸水素炎中でSiCl ₄ 加水分解・熔融
Type IV	合成無水石英ガラス	酸素プラズマ炎中でSiCl ₄ 直接熔融

この分類は広く用いられたが、その後、スート法やゾルーゲル法のように、高温で熔融することなしにガラス化する方法が出現したため、追加の必要が生じている。しかしながら、広く認められた分類法はないのが現状である。ランプの管壁材料として用いられるのは、主としてType I,IIであり、その意味では、Hetheringtonの分類は有効である。

(2) 構造

凝集相のシリカにはたくさんの多形が存在する。これを表4.4.2²¹⁾に示す。一般に、シリカガラスの構造は酸素原子を頂点とするSiO₄四面体とその頂点を接して作り上げる無秩序な網目構造としてとらえられる。O-Si-Oのなす角はほとんど変わらず、四面体の形はくずれにくい。Si-O-Siのなす角は120°~180°の間で、比較的自由に变化できる。シリカの多形の中で最も稠密なステショバイト（高圧相であり、SiO₄四面体ではない）の密度は4.3であり、石英ガラスの密度は2.2であるので、石英ガラスの充填密度はかなり低く、SiO₄四面体の作るリングが変形するのは容易である。一方、Si-O-Siの結合は強く、ガラスの軟化点付近（~1700°C）でさえ十分には切断されない。徐冷点付近（~1200°C）では、いろいろな点欠陥（≡Si-O⁻Na⁺、≡Si-O-H、≡Si-H、≡Si、O-Si≡、≡Si-Si≡など）が関与して網目構造の組み替えが起こると考えたほう

がよく、シリカガラスの物性の多くが構造敏感（点欠陥、微量不純物、OH基などの構造欠陥の影響を受ける）であるのは、このことに由来する。

Na⁺などの金属不純物、OH基、吸蔵水素、シリカの化学量論比からのずれによる酸素過多あるいは酸素欠乏は、異なった種類の欠陥を生成し、分光透過率、粘性、結晶化、電気伝導、蛍光などの特性に関わってくる。さらに、熱履歴の差による仮想温度のちがいも、密度や光学特性などに関与する。また、水晶を熔融してガラス化したType I,IIの石英ガラスは、結晶構造の残留する可能性が指摘されており^{22),23)}、このことが硬度、粘性、結晶化などに影響する可能性がある。

ランプの管壁材料として用いる場合、必要とする材料特性が、構造敏感な性質であることが多い。このため、石英ガラスの品種の選定、ガラス加工、熱処理の条件が、ランプ性能を決定することもめずらしくない。

(3) 機械的性質

石英ガラスの機械的性質を表4.4.3に示す。石英ガラスは、異常弾性であり、高温ほどヤング率や強度が大きくなる²⁴⁾。これを図4.4.1、図4.4.2に示す。一般に、ガラスの実用強度は、ガラス中に存在するマイクロクラック（Griffith's flaw）によって決まるとされている。ガラス中に巾 a[m]のクラックがあるとき、クラック端に応力が集中し、強度が低下する。このとき、クラックと垂直方向の破壊応力 σ_c [Pa]は次式で与えられる²⁵⁾。

$$\sigma_c = K_{Ic} / (f a^{1/2}).$$

ここで K_{Ic} は引張りによる破壊じん性で、室温の石英ガラスでは $K_{Ic} = 0.798 \text{MPa m}^{1/2}$ である。f は形状で決まる定数で厚さ b[m]の板の中に巾 a[m]のクラックがあるときは次式で与えられる。

$$f = 1.77 \{ 1 - 0.1(a/b) + (a/b)^2 \}.$$

引張強度にはサイズ効果があり、大きな物ほど、単位面積あたりの強度が低下する。数mm～数十mmの寸法ではおよそ50MPa(490Kgf/cm²)としてよい。また、荷重が長時間かかるとき、周囲の水の影響を受け、強度が低下する²⁶⁾。これを図4.4.3に示す。

ショートアークのHIDランプ（超高压水銀ランプ、キセノンランプ、コンパクトメタルハライドランプなど）では点灯中の動作圧力が数十気圧になる。これらのランプは、設計上の安全率（ランプの内圧強度／動作圧力）が10以下になる場合があり、破裂する可能性があるため、十分な品質管理を必要とする。発光管の内圧による破壊圧力（内圧強度） P_b [MPa]は、発光管部が直径 d[mm]、肉厚 t[mm]の球殻のときおよそ次式で与えられる。

$$P_b \sim 200 t / d.$$

（例：d=20mm、t=2mmの時、 $P_b \sim 20 \text{MPa}$ ） 発光管の形状が円柱殻の場合、内圧強度はこの1/2になる。一方、シール部も内圧によって破壊されることがある。モリブデン箔を石英ガラス中に封止した場合、内圧による破壊圧力は、シール形状やガラスの

肉厚などの条件によって異なるが、典型的な例では、次のようになる。

モリブデン箔の巾 a[mm]	2	3	4
内圧による破壊圧力 P_s [MPa]	9	7	6

この例では、 $P_s \sim 12 a^{-1/2}$ の関係が成り立つ。この関係が σ_c の式と同じ形であるのは注目に値する。シール部の強度のバラツキ S_s は、発光管の強度のバラツキ S_b より小さいため、 $P_b \cdot 6S_b$ と $P_s \cdot 6S_s$ の小さい方をランプの強度と考える必要がある。とくに、信頼性を要求されるランプについては、耐圧試験によるスクリーニングが行われている。

(4) 熱的性質

石英ガラスの熱膨張率、熱伝導率、熱拡散率、比熱を表4.4.4に示す²⁷⁾。また、それぞれの温度依存性を、図4.4.4～図4.4.7に示す。石英ガラスは熱膨張率が $\sim 5.5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ と低いため、熱衝撃に強く、1cm厚の板で1000Kの急冷にも耐える。見かけの熱伝導率は $\sim 1000\text{K}$ 以上で急激に高くなる。これは、放射による熱の伝達加わるためと考えられる。ガラス転移点はおよそ1480Kとされるが、急激な熱膨張率の変化や明確な比熱の不連続が観察された例は少ない。

SiO_2 の高温における安定性は、周囲の酸素濃度によって支配される。これを図4.4.8²⁸⁾ (Ellingham線図)と図4.4.9²⁹⁾ (Volatility線図)に示す。図4.4.8から、ガラスの作業温度域(1700°C～2100°C)では、酸素が不足すると、 SiO が生成されやすいことがわかる。この SiO は、蒸気圧が高いため蒸発しやすく、酸素のない状態では、低温部に付着し、黄褐色を呈する。酸素が存在すると微粒子のシリカとなって白いくもりを生じる。

(5) 粘性

石英ガラスの粘度は、アレニウス型の温度依存性を示す。同じ温度においても、OH基、Al、アルカリ金属などの含有量、製法、熱履歴によって影響を受け、粘度の違いは、1000°Cでは3ケタにもおよぶ³⁰⁾。これを図4.4.10に示す。OH基やアルカリ金属の含有量が少ないほど、粘度は高くなる³¹⁾。Alは、100 wt.ppm 以下ではアルカリイオンを補償し粘度を高める³²⁾。また、酸素欠乏も粘度を高める。これを図4.4.11～図4.4.13に示す。OH基の少ない石英ガラスでも、合成より天然のガラスの方が粘度は高くなる。

ガラス加工の時、局部加熱、急冷、外力などの要因によってガラスに歪が残留する。これを除去するため、アニールが行われる。アニールは、通常、歪点($\sim 1100^\circ\text{C}$)から徐冷点($\sim 1200^\circ\text{C}$)の温度範囲で行われる。

ランプの点灯中、発光管がガラスの歪点付近まで加熱されると、膨れや温度サイクルによる歪みの発生が問題となる。このような条件下にある超高圧水銀ランプやメタルハライドランプでは、粘度(歪点)の高い石英ガラスの使用が望まれる。粘度は

石英ガラスの品種、加工、熱処理の条件で異なるが、今のところ、Type I の石英ガラスが、最も高温まで使用できる。

(6) 結晶化 (失透)

石英ガラスの結晶化には、核生成と結晶成長の段階がある。核生成は、液相のシリカより結晶相のシリカの方が熱力学的に安定になる $\sim 1710^{\circ}\text{C}$ 以下の温度で起こる。温度の下限は、ガラス表面の清浄度や加熱時間により異なる。表面が清浄な場合には、 1200°C 、数百時間でも結晶化 (失透) が見られないが、表面に塩水が付着した場合には $\sim 600^{\circ}\text{C}$ で結晶化が起こることさえもある。結晶成長を始めるまでの時間をインダクションタイムといい、表面の清浄度の尺度として使われることもある³⁵⁾。析出する結晶は、多くの場合、対称性の最も高い (立方晶の) β クリスタライトである。

結晶成長は、通常、ガラス表面から起こり、ガラス内部に向かって進行する。結晶成長速度は、アレニウス型の温度依存性を示し、その活性化エネルギーは粘性のそれに等しい。結晶成長 (熔融) 速度を温度の関数として図4.4.14³⁴⁾に示す。成長した結晶層の厚さは、還元状態 (酸素欠乏) にある無水石英ガラス (多くの場合 type I) では、時間の平方根に比例するがそれ以外 (有水や化学量論比の石英ガラス type II, III, IV) では、時間に比例する。アルカリや土類金属などの不純物や、水、酸素などが存在すると、結晶化を促進する^{35), 36), 37)}。Fratelloら³⁸⁾の結晶化のモデルよれば、網目構造の組みかえは、主として、 $\equiv\text{Si-O-H}$ と $\equiv\text{Si-O}$ (非架橋酸素: 酸素欠乏の石英ガラスには少ない) の共同で行われる。

ハロゲン電球やキセノンランプのように点灯中高温になり、外管を持たないランプでは、指紋や汗の付着が失透 (結晶化) の原因になることがある。この対策として、酸化スズ膜などをコーティングした例³⁹⁾がある。また、メタルハライドランプでは、発光管が高温になり、しかも、金属よう化物が封入されるため失透に対する配慮が不可欠である。結晶化を防止するため、窒化硅素をコーティングしたという報告⁴⁰⁾もある。

(7) 輸送現象

石英ガラス中のいくつかの分子の拡散係数を表4.4.5、図4.4.15に示す⁴¹⁾。拡散係数 $D[\text{m}^2/\text{s}]$ は、アレニウス型の温度依存性をもつ。

$$D = D_0 \exp(-Q_D/kT).$$

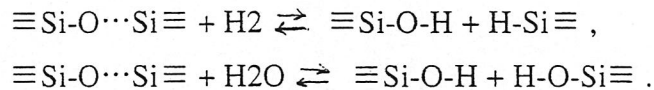
ここで、 $k[\text{J/K}]$ は Boltzmann 定数、 $T[\text{K}]$ は絶対温度、 $Q_D[\text{kJ/mol}]$ は拡散の活性化エネルギーである。活性化エネルギーは、 He や H_2 のような小さな中性分子では、網目構造の網目を通り抜けやすいため、小さい。一方、 O_2 、 Cl_2 分子では、分子の大きさが網目に比べ大きいため、活性化エネルギーは大きくなる。

石英ガラス中へ溶解する水素は、 $\sim 500^{\circ}\text{C}$ 以下では網目構造の隙間に分子として溶

溶解する（物理溶解）。溶解量 $C[\text{H}_2/\text{cm}^3]$ は水素の圧力 $P[\text{atm}]$ に比例する。

$$C = SP.$$

ここで S は溶解度である。Heと H_2 以外の拡散は、この温度域では無視できる。より高温では、水素と水の石英ガラス中への溶解は、次のような平衡反応によって、網目構造中に取り込まれるもの（化学溶解）が多くなる。



この反応で水が溶解するとき、石英ガラス中のOH基の濃度 $C[\text{OH atm}^{-1/2} \text{cm}^{-3}]$ は、周囲の水蒸気圧 $P[\text{atm}]$ の平方根に比例する。

$$C = SP^{1/2}.$$

ここで、 S は溶解度で温度の上昇とともに漸減するが、 900°C 以上ではおよそ一定値をとり、 $S \sim 8.5 \times 10^{19} \text{ OH atm}^{-1/2} \text{ cm}^{-3}$ ($S \sim 1100 [\text{wtppm atm}^{-1/2}]$)である⁴²⁾。水素と水の溶解度を図4.4.16に示す。

水（OH基）の拡散係数 $D_{\text{OH}}[\text{cm}^2/\text{s}]$ は、アレニウス型の温度依存性を示すが、出入りで異なった値をもつ⁴³⁾。

$$D_{\text{OH}}(\text{in}) = 1.0 \times 10^{-6} \exp(-9220/T),$$

$$D_{\text{OH}}(\text{out}) = 2.7 \times 10^{-6} \exp(-8710/T).$$

ここで $T[\text{K}]$ は絶対温度である（適用温度範囲 $700 \sim 1200^\circ\text{C}$ ）。異なった値をもつ理由は、Doremus⁴⁴⁾によれば、OHの実効的な拡散係数（ $D_e \sim 2D_{\text{H}_2\text{O}} [\text{H}_2\text{O}]/[\text{SiOH}]$ ）がその濃度に依存するためである。また、水素の拡散係数 $D_{\text{H}_2}[\text{cm}^2/\text{s}]$ は、 800°C より低温側では、アレニウス型である。

$$D_{\text{H}_2} = 6.5 \times 10^{-4} \exp(-5690/T).$$

しかしながら、これより高温では、拡散係数が急に低下するという報告⁴⁵⁾がある。いっぽう、透過係数 $K(=DS)$ は、 $400 \sim 1100^\circ\text{C}$ まで、アレニウス型である。

石英ガラス中に溶解した水素は、その拡散係数（ $D_{\text{H}_2} \sim 2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ at 1000K ）が大きいために、熱処理によって容易に除去できる。実際、T-7030などの直接電気熔融品は、 H_2 あるいは $\text{H}_2 + \text{He}$ 雰囲気中で熔融され、管引されるので、数100ppmのOH基を含むが、それとほぼ同量のSi-Hを含み、熱処理によって5ppm以下にすることが可能である（T-7032）。一方、水からのOH基や、もともと存在するOH基を除去する時は、水の拡散係数が、水素のそれに比べ3桁ほど小さい（ $D_{\text{OH}} \sim 4 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ at 1000K ）ため、より長時間の熱処理を必要とする。

大気中で熱処理（アニール）すると、石英ガラスの表面は、大気中の水蒸気との平衡で決まるOH基の濃度になる。 25°C 、相対湿度70%の大気の水蒸気圧は $\sim 2200\text{Pa}$ （17Torr）であり、平衡するOH基の濃度は $\sim 160\text{wt.ppm}$ となる。浸透する深さは、温度（拡散係数）と時間に依存する。大気中の熱処理では、Type Iでは、表面近くのOH基の濃度は増加するが、Type IIでは、減少する。

ハロゲン電球やHIDランプの管内に持ち込まれた水素や水は、その量によっては、黒化、断線、不点灯などの不具合を生じる原因となる^{46), 47), 48)}。したがって、ガラス中

の水素や水の挙動は、ガラス品種の選定、ランプ製造時のガラス加工や熱処理の条件、ランプ点灯時の動作条件を決定するうえで、決定的に重要である。このため、各種石英ガラスについて、吸蔵ガスのガス放出の測定が行われている。これを表4.4.6⁴⁹⁾、表4.4.7⁵⁰⁾に示す。この表から、吸蔵水素の量は、製法や製造メーカーにより、大きく異なっている事がわかる。

(8) 電気的性質

石英ガラスは、金属不純物の含有量が少ないため、イオン伝導に寄与する陽イオンが少ない。このため、電気伝導度はきわめて小さく、誘電損失も広い周波数にわたって小さい。また、誘電率も比較的小さく、ほぼ一定値をとる。一般に、石英ガラスは、室温付近では、優秀な誘電体であるが、温度の上昇とともに、イオンの移動や内部摩擦の増加により、その特質は劣化する。絶縁耐圧は室温で25kV/mm以上あるが500°Cでは4kV/mm程度まで低下する。これを図4.4.17に示す。

HIDランプの始動時に印加される高電圧パルスは数～数10kVになるため、瞬時再点灯の必要な場合には、絶縁耐圧を考慮する必要がある。

高温で電界の印加される条件（メタルハライドランプのNa消失⁵¹⁾や直流点灯ランプの陰極封止部の不具合）では金属イオンの易動度を考える必要がある。電界E[V/m]のもとで、イオンのドリフト速度をv[m/s]とすると、次式の関係がある。

$$v = \mu E.$$

ここで、 μ [m²/(Vs)] はイオンの易動度であり、アレニウス型の温度依存性を示す。アルカリイオンの易動度を表4.8^{52),53)}に示す。

$$\mu = \mu_0 \exp(-Q/kT).$$

イオンの拡散係数と易動度の間には、一般に、Einsteinの関係式 $D/kT \sim \mu/e$ が成り立つとされる。イオンの易動度の活性化エネルギーQは、イオン半径の小さなLi⁺、よりNa⁺の方が小さい。Na⁺よりイオン半径の大きいイオンでは、イオン半径が大きいほど、易動度の活性化エネルギーも大きい。これは、Andersonら⁵⁴⁾のモデルで説明され、一価のイオンの拡散の活性化エネルギー E_a [eV]は、次式で表わされる。

$$E_a = 8.2(2.1-r)/\gamma(r+1.4) + 0.4G(r-0.6)^2$$

ここで、r[Å]はイオン半径、G[x10GPa]は剛性率、 γ は共有結合のパラメータであり、石英ガラスの場合、G=3.34、 γ =13.7である。上式の右辺第一項はイオンと近接酸素原子とのクーロン相互作用、第二項は網目を通り抜けるために必要な網目の歪エネルギーである。

(9) 光学的性質

ランプの管壁材料は光を透過する必要があるので透過特性は特に重要である。各Typeの石英ガラスの分光透過率を図4.4.18a,bに示す。また、石英ガラス中のカラーセ

ンターによる吸収波長を表4.4.9⁵⁵⁾に示す。

紫外部の分光透過率は、金属不純物、E'センター、酸素欠陥、OH基、吸蔵ガスの影響を強く受ける。これらの吸収は、絶縁物のバンド構造において、バンドギャップ中に、これらの欠陥準位、あるいは励起子の準位ができるために起こる。ランプの管壁の厚さは1~5mmであり、吸収係数が~100cm⁻¹までの光を透過すると考えてよい。合成の場合~160nm、天然の場合~180nmまで透過する。この差は、主として、アルカリ金属やFe、Tiなどの金属不純物量の差によって生じる。また、高温になると吸収端が長波長側にシフトする⁵⁶⁾。これを図4.4.19に示す。215nm(5.8eV)はE'センターによる吸収、163nm(7.6eV)、245nm(5.0eV)は酸素欠陥(245nmの吸収は他にも原因があると考えられている)による吸収である。

赤外部の分光透過率は、Si-Oの振動による吸収で決まる。Si-Oの倍振動による吸収が3.8、4.4、5.0μmにあるので、~3.5μmより長波長では、だんだんと吸収が強くなり、4.8μより長波長の光は透過しない。OH基の振動による吸収が1.4、2.2、2.73μmに存在する。特に2.73μmの吸収は強い。OH基の濃度[OH](wt.ppm)は、2.73μmの吸光度の測定から、次式によって算出される⁵⁷⁾。

$$[\text{OH}] \sim 100 d^{-1} \log_{10}(T_0/T).$$

ここで、d(cm)はガラスの厚さ、log₁₀(T₀/T)は、2.73μmにおける吸光度である。

屈折率は、一般のガラスに較べ低く、屈折率分散は紫外部で高い。これを図4.4.20⁵⁸⁾に示す。実用的には粒状構造や脈理などの屈折率の不均一性が問題となる。これらは、OH基の不均一性や仮想温度の差によっておこり、製法や製品の等級、熱処理によって異なる。また、泡やすじなどの気泡はType Iに顕著であるが、type IIには比較的少ない。

天然石英ガラスを低圧水銀ランプ(253.7nm)で照射すると特有の蛍光が見られ、不純物量の目安となることから、品質管理に使われることがある。

キセノンランプやフラッシュランプでは、紫外線によるオゾンの発生を抑さえるため、遠紫外線のカットの目的でTiO₂やCeO₂を数100ppmドープしたり、コーティングすることが行われている。

低圧水銀ランプでは、184.9nmと253.7nmの紫外線が、点灯時間とともに、急激に減衰する”ソーラリゼーション”が起こる。これは、紫外線によって、E'センター(≡Si·)や不純物中心などのカラーセンター(あるいはラディカル)が生成し、石英ガラスの紫外部の透過率が減少するためである。カラーセンターの生成を抑えるには、前駆体となる不純物や欠陥の減少、シリカの化学量論比、溶存水素のコントロール⁵⁹⁾が必要であろう。また、カラーセンターは~700℃以上の温度でアニールすると消失し、もとの透過率を回復する。さらに、紫外線照射にともなう歪の発生も問題となることがある。

(10) 化学的性質

石英ガラスは単一成分ガラスであり、金属不純物の濃度が低い。製造メーカー各社カタログによる代表的石英ガラスの不純物を表4.4.10に示す。石英ガラスと種々の物質との反応性を表4.4.11に示す。

Pretorius⁶⁰⁾によると、石英ガラスは、Crより電気陰性度の高い（ポーリングの電気陰性度が1.5以下の）金属と高温で反応する。実際、HIDランプの主な構成要素であるW、Mo、Ptとは高温まで反応しない。しかし、TaやZrが、非酸化雰囲気のもとで、軟化点程度の高温の石英ガラスと接触すると、SiOを生成する。また、水素やカーボンのような還元性の物質も高温の石英ガラスと接触するとSiOを生じ、蒸発が激しくなる。

メタルハライドランプでは、金属のハロゲン化物と石英ガラスの反応が問題となる^{61).....68)}。アルカリ金属や土類金属は、比較的低温でも石英ガラスと反応するが、NaIやCsIなどのアルカリ金属よう化物は、水が存在しなければ、1100°C以下では、石英ガラスと反応しない⁶⁹⁾。Sc、Y、ランタニド、Thなどの希土類金属よう化物は反応する可能性がある⁷⁰⁾。希土類金属は高温でも安定な酸化物を作りやすく、これら酸化物とSiO₂が反応するためと考えられる。

石英ガラスの洗浄は、フッ酸、フッ化アンモニウム、フッ化アンモニウムと硫酸の混液によるエッチングによっておこなわれる。エッチング速度は、濃度、温度、時間に依存する。これを図10.1⁷¹⁾、10.2⁷²⁾に示す。

水に石英ガラスを長時間浸すと極微量の重量損失がある。また、300°C以上のリン酸やPHが9以上のアルカリの水溶液には溶出する。

*) 「石英ガラス」について。

「石英ガラス」には同義語、類義語が多い。熔融水晶（石英）(fused quartz)、熔融シリカ(fused silica)、シリカガラス(silica glass)、石英ガラス、石英(quartz)、透明石英ガラス、透明シリカ(vitreous silica)、非晶質シリカ(amorphous silica)などである。

この中で、「石英」は適当な名前ではない。「石英」は二酸化珪素(SiO_2)の結晶相の1つの名前である。また、「熔融..」も熔融過程を経ないで作る方法を含まないため、総称として用いるのはむずかしい。また、「非晶質シリカ」はシリカゲルなども含まれてしまうため、語義が広すぎる。「石英ガラス」は、もっともよく使われる名前であるが、「石英から作ったガラス」と考えると語義が狭すぎ、「石英のガラス状態」は厳密には誤りである。

このように考えると、二酸化珪素（シリカ）のガラス状態として「シリカガラス」が最も適当である。しかし、「石英ガラス」が広く用いられている現状では、「石英ガラス」を「シリカガラス」の同義語として許容する必要がある。

石英ガラスの総説、データ集

- 1) 加賀美敏郎、林瑛 監修；"高純度シリカの応用技術" 第2章 シリカガラス p94-112
シーエムシー (1991)
- 2) シリカガラス研究会；"シリカガラスデータブック", ニューガラスフォーラム (1990)
- 3) R.A.B.Devine Edited;"The Physics and Technology of Amorphous SiO_2 ", Plenum (1988)
- 4) セラミック材料研究調査委員会編；"セラミック材料研究調査報告書"
照明学会 JIER-010 p16-23 (1988)
- 5) 伴一成；"ランプ用ガラス（石英ガラス）" 照明学会誌 **69** [1] 8-10 (1985)
- 6) 林瑛；"シリカガラス（石英ガラス）の現状と将来",
セラミックス **20** [4] 274-279 (1985)
- 7) 作花濟夫他編；"ガラスの辞典" 7.石英ガラス p.204-207 朝倉書店 (1985)
- 8) 泉谷徹郎監修、黒羽敏明；"新しいガラスとその物性" p547-566,
経営システム研究所 (1984)
- 9) O.V.Mazurin et.al. Edited;"Handbook of Glass Data"
part A:Silica Glass and Binary Silicate Glasses ; Elsevier (1983)
- 10) S.T.Pantelides Edited;"The Physics of SiO_2 and Its Interfaces", Pergamon (1978)
- 11) 特許庁編；"特許から見たガラス技術" 第6章 石英ガラス p777-796,
発明協会 (1978)
- 12) 作花濟夫他編；"ガラスハンドブック" 5.石英ガラス p1005-1012, 朝倉書店 (1975)
- 13) 重岡正文；"石英ガラス（上）,（下）", 工業材料, **22** [6] 60-68,32,[7] 61-68 (1974)
- 14) 工藤恵栄；"分光学的性質を主とした基礎物性図表" 42.水晶（熔融） p280-289,
共立出版 (1972)
- 15) D.R.Stull and H.Prophet Directed;"JANAF Thermochemical Tables"
NBS (Second Edition) NSRDS-NBS37 (1971)

- 16) R.Brückner; "Properties and Structure of Vitreous Silica I,II"
 (J. Non-Cryst. Solids 5 123-175,177-216 (1970))
- 17) 森谷太郎他編 ; "ガラス光学ハンドブック" 5.2 石英ガラス p644-651,
 朝倉書店 (1963)
- 引用文献
- 18) 林瑛; セラミックス **20** [4] 274-279 (1985)
- 19) G.Hetherington and K.Jack; Phys. Chem. Glasses **3** [4] 129-133 (1962)
- 20) G.Hetherington, K.Jack and Ramsay; Phys. Chem. Glasses **6** [1] 6-15 (1965)
- 21) A.Nukui; セラミックス **20** [4] 266-273 (1985)
- 22) 重岡正文 ; 工業材料, **22** [6] 60-68,32 (1974)
- 23) V.M.Castano et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **70** [4] c77-c78 (1987)
- 24) N.Sinkai et al.; J. Am. Ceram. Soc. **64** [7] 426-430 (1981)
- 25) 窯業協会; "セラミックスの機械的性質" 第3章 p.13-24(1979)
- 26) S.Shinkai et al.; J. Matter. Sci. **17** 2878-2886 (1982)
- 27) Y.S.Touloukian et.al. Directed; Thermophysical Properties of Matter (IFI/Plenum)
 Thermal Conductivity Vol.2 p183-193 (1970)
 Specific Heat Vol.5 p202-206 (1970)
 Thermal Diffusivity Vol.10 p399-401 (1973)
 Thermal Expansion Vol.13 p355-371
- 28) V.L.K.Lou et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **68** [2] 49-58 (1985)
- 29) A.H.Heuer et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **73** [10] 2789-2799 (1990)
- 30) G.Hetherington.et.al.; Phys. Chem. Glasses. **5** [5] 131-136 (1964)
- 31) V.K.Leko et.al.; Fizika i Khimika Stekla. **3** [3] 219-226 (1977)
- 32) P.P.Bihuniak et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **66** [8] c134 - c135 (1983)
- 33) V.K.Leko and L.A.Komarova; Inorg.Mat. **7** [12] 1991-1994 (1971)
- 34) F.E.Wagstaff; J. Am. Ceram. Soc. **52** [12] 650-654 (1969)
- 35) F.E.Wagstaff.et.al.; Phys. Chem. Glasses. **5** [3] 76-81 (1964)
- 36) F.E.Wagstaff.et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **48** [7] 382-383 (1965)
- 37) P.P.Bihuniak; J. Am. Ceram. Soc. **66** [10] c188 - c189 (1983)
- 38) V.J.Fratello et.al.; J. Appl. Phys. **51** [12] 6160-6164 (1980)
- 39) 米本信次、弓削洋二; 東芝レビュー **26** [9] 1097-1099 (1971)
- 40) S.Jonas et.al.; 5th-International Sympto. Sci. & Tech. Light Sources. 28:P (1989)
- 41) R.Brückner; J. Non-Cryst. Solids **5** 177-216 (1971)
- 42) J.F.Shackelford et.al.; J. Non-Cryst. Solids **21** 55-64 (1976)
- 43) A.J.Moulson; Trans. Faraday Soc. **57** [8] 1208-1216 (1961)
- 44) R.H.Doremus; in "Reactivity of Solids" p667-673 ;
 Edited by J.W.Mitchell se.al. Wiley, New York (1969)

- 45) K.Ogawa et.al.; J. Light & Vis. Env. **1** [2] 16-21 (1977)
- 46) 友清克彦ほか; 昭和60年照明学会全国大会 27 (1985)
- 47) 佐々木俊一ほか; 昭和57年照明学会全国大会 19 (1982)
- 48) S.Mochimaru et.al.; Journal of IES **14** [1] 264-273 (1984)
- 49) 斎藤昇ほか; 真空 **7** [10] 350-356 (1964)
- 50) Y.Morimoto et.al.; J. Non-Cryst. Solids **139** 35-46 (1992)
- 51) J.F.Waymouth; *Electric Discharge Lamps* Cambridge, MA MIT Press 266-277 (1984)
- 52) G.Greeuw and J.F.Verwey; J. Appl. Phys. **56** [8] 2218-2224 (1984)
- 53) S.J.Rothman et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **65** [11] 578-582 (1982)
- 54) O.L.Anderson et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **37** [12] 573-580 (1954)
- 55) 長沢可也; ニューガラスフォーラム編 シカガラスデーターブック p59-62 (1990)
- 56) C.W.Bates, Jr.; Appl. Opt. **15** [12] 2976-2978 (1976)
- 57) D.M.Dodd and D.B.Fraser.; J. Appl. Phys. **37** 3911 (1966)
- 58) 信越石英.; カタログ QA-1 p.32 (1989)
- 59) S.Yamagata; Minerlogical Journal **15** [8] 333-342 (1991)
- 60) R.Pretorius et.al.; Solid State Electronics **21** 667-675 (1978)
- 61) D.M.Speros et.al.; J.Electrochem. Soc **128** [4] 778-785 (1981)
- 62) 松野博光ほか; 照明学会誌 **65** [4] 46-51 (1981)
- 63) M.Yamane et.al.; J. Appl. Phys. **54** [1] 107-111 (1978)
- 64) T.Ishigami et.al.; J.Light & Vis. Env. **7** [1] 1-6 (1983)
- 65) E.Fischer; High Temp. Lamp Chem. Proc. **85-2** 47-56 (1985)
- 66) E.Fischer et.al.; High Temp. Lamp Chem. Proc. **85-2** 218-222 (1985)
- 67) W.van Erk et.al.; High Temp. Lamp Chem. Proc. **85-2** 57-71 (1985)
- 68) E.Fischer; High Temp. Lamp Chem.II Proc. **88-4** 90-95 (1985)
- 69) M.Suenaga et.al.; J.Illum.Eng.Inst.Jpn. **2** [2] 2-5 (1978)
- 70) 大村秀明ほか; 平成2年照明学会全国大会 35 (1990)
- 71) K.Kobayashi; Am. Ceram. Soc. Bull. **66** [5] 807-809 (1987)
- 72) D-T Llang et.al.; J. Am. Ceram. Soc. **70** [8] 570-577 (1987)

[文責 池内満]

4-5. データベース化の検討

以上で収集したデータのうちデータベースの対象を石英ガラスの文献に絞り、データベース化を試行した。

4-5-1. 目的・概要

ランプ管壁材料のデータベース構築のため、問題点の抽出を目的として、レコード件数、範囲を限定したひな型データベースを作製した。範囲は石英ガラスに限定した。

4-5-2. システム構成

ひな型データベースは次の環境で動作する。

- 1) Macintosh すべての機種
- 2) OS : system漢字トーク6.0.7以上
- 3) データベースソフト : ファイルメーカーPro

4-5-3. ファイル構成

ひな型データベースは次のファイルから成る。

- 1) 石英ガラスの文献 :

ランプ管壁材料の視点で関係のある石英ガラスの文献

4-5-4. 操作方法と出力内容

詳細はファイルメーカーProのマニュアル参照。

4-5-5. 照明学会へのデータ登録について

ほとんどのパソコンでデータ利用を可能にするため、文字情報のみを（イメージ情報を除く）一般的なデータ形式で記録することにした。

IBM-PC、AXマシン、PC-98、Macintoshで共通して読める記憶媒体として、3.5インチ2DDのディスクレットをMS-DOSの9セクターFormatで初期化したものがある。この媒体にタブセパレータのテキスト形式およびSILK形式で記録する。現状では、ほとんどのパソコンは、MS-DOSとファイル交換ができるので、このファイルを手持ちのデータベースソフトで読み込めば、データベースが得られる。

4-6. 今後の課題

今回のデータベース化の試みからは、データベース化に伴う種々の課題（データベースの運用形態、データの入力・更新、システムの管理・運営あるいは著作権の問題など）に対して、十分に答えることができなかった。リレーショナル処理を含めたシステム全体の課題については、今後改めて検討し直す必要がある。

ガラス材料に関してはすでにデータベース化の動きがあるが、ランプ設計の立場からガラス物性を見直し、ランプ技術者にとって有益なデータベースを構築する必要がある。

表4.2.1 ガラスの諸特性表 (米国コーニング社)

米国コーニンググラス社製品

ガラスの諸特性表

ガラス コード 番号	色		用途		形状		耐腐食性		熱膨張係数 $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$		使用温度 (機械的応力のみの考慮)		耐熱衝撃性 15cm角板		耐熱衝撃性 12mm厚板		特性温度		25°C 30°C		圧縮抵抗 10kN/cm ²		特性		16		17		18		
	色		用途		形状		耐腐食性		熱膨張係数		使用温度		耐熱衝撃性		耐熱衝撃性		特性温度		25°C 30°C		圧縮抵抗		特性		16		17		18		
	透過	発光	分岐	風化	耐水	耐酸	0-300°C	25°C 設定温度 (+5°C)	常用	最高	常用	最高	10mm厚	12mm厚	100°C	150°C	100°C	150°C	軟化点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	変形点	
0010	透明	透明	T	I	2	2	2	93.5	101	110	380	65	30	35	19	392	432	626	983	363	2.86	6.3	0.21	17	8.9	7.0	0.16	6.7	1.0	1.539	0010
0080	透明	透明	BMT	I	3	2	2	93.5	105	110	460	65	30	35	16	473	514	696	1005	465	2.47	7.1	0.22	12.4	6.4	5.1	0.9	7.2	6.5	1.512	0080
0120	透明	透明	TM	I	2	2	2	89.5	97	110	380	65	30	35	20	395	435	630	985	382	3.05	6.0	0.22	17	10.1	8.0	0.12	6.7	0.8	1.560	0120
0211	透明	透明	S	I	1	2	2	73.8	84						20	508	550	720	1008	608	2.57	7.59	0.22	8.3	6.7	0.46	6.7	3.1	1.523	0211	
0317	透明	透明	S	I	1	1	3	88	98	200	560					576	625	870	1285	440	2.46	7.3	0.22		5.5	4.3		8.9*	1.506	0317	
0336	透明	透明	S	I	1	1	11			650						611	2.5							7.5	6.1	0.66	6.6	4.4		0.036	
1720	透明	透明	BT	I	1	1	3	42	52	200	650	135	115	75	28	667	712	915	1202	513	2.58	8.9	0.24	17	11.4	9.5	0.38	7.2	2.7	1.530	1720
1723	透明	透明	BT	I	1	1	3	46	54	200	650	125	100	70	26	665	710	908	1168	514	2.64	8.8	0.24	17	11.3	11.3	0.16	6.3	1.0	1.547	1723
1990	透明	透明	BT	I	3	3	4	46	53	200	420	45	15	25	14	340	370	500	756	3.50	5.9	0.25	17	10.1	7.7	0.04	8.3	0.33		1.990	
3120	透明	透明	BT	I	1	1	2	40	43	200	480	145	110	80	43	493	540	780	1171	2.21	6.6	0.19		8.6	7.1	0.30	4.9	1.5	1.481	3120	
6700	透明	透明	S	I	1	1	1	29.6			560					575	621	903					2.36	6.6	0.27	17	9.8	7.7		6700	
6750	透明	透明	P	I	2	2	2	78.5	90	110	480	70	50	40	20	505	540	780	1023	2.58	7.1	0.21							1.507	6750	
7040	透明	透明	BPR	I	2	2	88			110	420	65	50	35	18	447	485	676	1040	2.59									1.480	7040	
7050	透明	透明	BT	I	3	3	4	47.5	54	200	430	37	449	490	702	1080			2.24	6.0	0.23		9.6	7.8	0.20	4.8	1.0	1.479	7050		
7052	透明	透明	BT	I	3	3	4	46	51	200	400	125	100	70	39	461	501	703	1027	2.24	6.1	0.22	16	8.8	7.2	0.33	4.9	1.6	1.484	7052	
7056	透明	透明	BT	I	2	2	4	46	53	200	420	125	100	70	41	436	480	712	1128	2.27	5.8	0.22	17	9.2	7.4	0.26	4.9	1.3	1.487	7056	
7059	透明	透明	BT	I	2	2	4	51.5	56	200	460	32	393	439	844	1160			2.29	6.5	0.21		10.2	8.3	0.27	5.7	1.5	1.487	7059		
7070	透明	透明	S	I	1	1	4	46	50.1							593	639	844	1160	2.76	6.8	0.28		13.1	11.0	0.10	5.84	0.58	1.530	7070	
7251	透明	透明	S	I	1	1	2	32	39	230	430	180	150	100	66	456	496	1068		2.13	5.2	0.22	17	11.2	9.1	0.05	4.1	0.25	1.469	7251	
7570	透明	透明	P	I	2	2	36.7	38.1		230	460	160	130	90	48	500	544	780	1167	2.25	6.5	0.19	18	8.1	6.6	0.45	4.85	2.18	1.476	7570	
7720	透明	透明	P	I	1	1	4	84	92	100	300	21	342	363	440	558			5.42	5.6	0.28	17	10.6	8.7	0.22	15.0	3.3	1.86	7720		
7740	透明	透明	BPT	I	2	2	36	43		230	460	160	130	90	49	484	523	755	1146	2.35	6.4	0.20	16	8.8	7.2	0.27	4.7	1.3	1.487	7740	
7760	透明	透明	BPT	I	1	1	32.5	35		230	480	160	130	90	54	510	560	821	1252	418	2.23	6.4	0.20	15	8.1	6.6	0.50	4.6	2.6	1.474	7760
7800	透明	透明	BPT	I	2	2	34	37		230	450	160	130	90	52	478	523	780	1198	442	2.24	6.3	0.20	17	9.4	7.7	0.18	4.5	0.19	1.473	7800
7913	透明	透明	T	I	1	1	50	53		200	460	33	533	576	795	1189			2.36				7.0	5.7				1.491	7913		
7940	透明	透明	BPRST	I	1	1	7.5	5.5		900	1200	220	890	1020	1530					487	2.18	6.9	0.19	17	9.7	8.1	0.04	3.8	0.15	1.458	7940
7971	透明	透明	U	I	1	1	5.5	3.5		900	1100	286	956	1084	1580					489	2.20	7.4	0.16	17	11.8	10.2	0.001	3.8	0.0038	1.459	7971
8160	透明	透明	U	I	1	1	0.5	2		800	1100	3370								2.21	6.9	0.17	20	12.2	10.1	<0.002*	4.0*	<0.008*	1.484	8160	
8161	透明	透明	PT	I	2	2	91	100		100	380	65	50	35	18	397	438	632	973	2.29			17	10.6	8.4	0.09	7.0	0.63	1.553	8161	
8940	透明	透明	PT	I	2	2	91	99		100	390	22	400	435	600	862			3.99	5.5	0.24	17	12.0	9.9	0.06	8.3	0.50	1.659	8940		
9606	透明	透明	T	I	2	2	88.8	94		700						395	423	536	745	4.51	5.5	0.27	17	11.2	9.4		10.75*	0.14*	1.731	9606	
9618	透明	透明	C	II	1	1	4	57		700		200	170	130	16					657	2.6	12	0.24	16.7	10.0	8.7	0.30	5.6	1.7		9618
9632	透明	透明	S	I	1	1	6			750										530	2.5	9.98	0.24		6.9	5.5	1.1	7.0	7.7		9632
9741	透明	透明	S	I	3	3	3	6.7	9	700		577	2.42	8.9	0.26					577	2.42	8.9	0.26								9741

第1列 第5列の値は、吹まの P-プレス S 板 M- マルチフォーム R-ロール板 T-巻上よ び棒 U-パネル C-精選

第6列 風化は主として「くもり」によって決定されるため、乳白ガラスに対する定価は除いた。また耐熱ガラスは過度の熱処理を受けた場合には、定価を算する場合があります。

第7列 外傷値。

第8列 最高。ガラスは耐熱にまわって弱くなる。この範囲の推奨材料は機械的安定性の考慮のみに基づいているので、耐熱の強化ガラスは耐熱設計の採用に先立ち試験を行うこと。

第9列 これらの数値は降時値に過ぎない。試料を加熱したのち、冷水中に投入した結果に基づいている。100°Cの耐熱性は、試料を110°Cに加熱したのち、10°Cの水中に投じて割れない場合をいう。強化ガラスは耐熱ガラスに比べて2倍以上の耐熱耐衝撃性をもっている。

第10列 耐熱衝撃性 (15cm角板)

第11列 特性温度

第12列 25°C 30°C

第13列 圧縮抵抗 (10kN/cm²)

第14列 圧縮抵抗 (10kN/cm²)

第15列 圧縮抵抗 (10kN/cm²)

第16列 16MHzでの値。

第17列 16MHzでの値。

第18列 16MHzでの値。

第19列 圧縮抵抗はナトリウム裏層(589.3nm)またはベリウム裏層(587.6nm)のいずれかによる。これら成長での値は小数点以下3位まで変わる。

第20列 改訂ASTM規格による測定。重量50g。

表4.2.2 各種管壁材料の物性データの所在 (検討経過資料)

平成4年1月22日
管壁材料班

光源システム関連情報研究調査委員会資料
- データベース化についての検討 -

管壁材料	構成要素	熱的性質				電気的性質	機械的性質	光学的性質	化学的性質
		融沸蒸線比熱熱熱標生熱表粘	耐結最	電固耐比誘散	硬引ヤン体ホ縦破超	透屈吸紫色耐	拡気溶易不0耐耐		
かかグ No. (メーカー) 文献、著書 (著者)	組成密結 成子 晶 度字 分 デ 類 ータ 参 照 No	融沸蒸線比熱熱熱標生熱表粘 点圧張熱量導散エワ字張係化冷 業融衛化使 係 率率トルデ力数点点温温撃デ用 数 ビギ | | | タ	耐結最 気有電誘電逸 伝体圧電損係 導積 率失数 度低 係 抗 数	電固耐比誘散 硬引ヤン体ホ縦破超 張グ積ア弾増音 度圧率弾ソ性じ波 縮剛性ソ係ん・ 強性率比数性音 度率 速	透屈吸紫色耐 過折収外中放 率率係吸心射 反・数収欠線 射分 端陥性 率散	拡気溶易不0耐耐 散体解動純基食酸 係透度度物含・性 数過 濃有反マ 性 度量慮マ 性グ			
ソーダ石灰ガラス 硝子 (上田清) ガラス光学ハンドブック Corning Code 0080									
石英ガラス A. Hayashi A. Nukui シカガ'ラズグ'ブック A-1 (信越石英) N. Shinkai et al. S. Sakaguchi et al. Y. S. Touloukian et V. L. K. Lou et al. A. H. Heuer et al. G. Hetherington, et V. K. Leko et al. F. E. Wagstaff V. J. Fratello et al R. Bruckner H. Wakabayashi et J. F. Shackelford et C. W. Bates, Jr K. Kobayashi Da-Tung Llang et a 東芝セラミクス かかグ GE かかグ SYLVANIA かかグ Corning Code 7940	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18								
ホウケイ酸ガラス Corning Code 7740 Corning Code 7251									
アルミナ/サファイア Y. S. Touloukian et saphikonかかグ H. E. LaBELLE, Jr CRYSTAL SYSTEMS ハヤラム (日本硝子) SA-100 (京セラ)	19 20 21								
かかグ No. (メーカー) 文献、著書 (著者)	参 照 No	組成密結 成子 晶 度字 分 デ 類 ータ	融沸蒸線比熱熱熱標生熱表粘 点圧張熱量導散エワ字張係化冷 業融衛化使 係 率率トルデ力数点点温温撃デ用 数 ビギ | | | タ	耐結最 気有電誘電逸 伝体圧電損係 導積 率失数 度低 係 抗 数	電固耐比誘散 硬引ヤン体ホ縦破超 張グ積ア弾増音 度圧率弾ソ性じ波 縮剛性ソ係ん・ 強性率比数性音 度率 速	透屈吸紫色耐 過折収外中放 率率係吸心射 反・数収欠線 射分 端陥性 率散	拡気溶易不0耐耐 散体解動純基食酸 係透度度物含・性 数過 濃有反マ 性 度量慮マ 性グ		
		構成要素	熱的性質	電気的性質	機械的性質	光学的性質	化学的性質		

参考文献

- 1) A. Hayashi; Bull. Ceram. Soc. Japan 20 [4] 274-279 (1985)
- 2) A. Nukui; Bull. Ceram. Soc. Japan 20 [4] 266-273 (1985)
- 3) ニュージャスラム編; 「シカガ'ラズグ'ブック」 p. 60 (1990)
- 4) N. Shinkai et al.; J. Am. Ceram. Soc. 64 [7] 426-430 (1981)
- 5) S. Sakaguchi et al.; J. Matter. Sci. 17 2878-2886 (1982)
- 6) Edited: Y. S. Touloukian et al.; "Thermophysical Properties of Matter" Vol. 2 p. 183 PLENUM (1970)
Vol. 5 p. 202 PLENUM (1970)
Vol. 13 p. 358 PLENUM (197)
Vol. 10 p. 399 PLENUM (1973)
- 7) V. L. K. Lou et al.; J. Am. Ceram. Soc. 68 [2] 49-58 (1985)
- 8) A. H. Heuer et al.; J. Am. Ceram. Soc. 73 [10] 2785-3128 (1990)
- 9) G. Hetherington et al.; Phys. Chem. Glasses 5 [5] 131-136 (1964)
- 10) V. K. Loko et al.; Fizikai Khikla 3 [3] 219-226 (1977)
- 11) F. E. Wagstaff; J. Am. Ceram. Soc. 52 [12] 650-654 (1969)
- 12) V. J. Fratello et al.; J. Appl. Phys. 51 [9] 4718-4728 (1980)
- 13) R. Bruckner; J. Non-Cryst. Solids 5 177-216 (1971)
- 14) H. Wakabayashi et al.; J. Am. Ceram. Soc. 72 [10] 1850-55 (1989)
- 15) J. F. Shackelford et al.; J. Non-Cryst. Solids 21 55-64 (1976)
- 16) C. W. Bates, Jr; Appl. Opt. 15 [12] 2976-2978 (1976)
- 17) K. Kobayashi; Am. Ceram. Soc. Bull. 66 [5] 807-809 (1987)
- 18) Da-Tung Llang et al.; J. Am. Ceram. Soc. 70 [8] 570-577 (1987)
- 19) 工藤恵栄; 「分光学的性質を主とした基礎物性図表」 共立出版 (1972)
- 20) Edited: Y. S. Touloukian et al.; "Thermophysical Properties of Matter" Vol. p. PLENUM (197)
Vol. p. PLENUM (197)
- 21) H. E. LaBELLE, Jr.; J. Cryst. Growth 50 pp. 8-17 (1980)

表4.2.3 石英ガラスの物性データの所在

著者/編者	発行年	雑誌名/出版社	巻	号	ページ	表題	分類	A1	A2	A3	A4
森谷大郎他編	1963	朝倉書店			644	ガラス工学ハンドブック (10版)	book	1	1		
作花清夫他編	1975	朝倉書店			1005	ガラスハンドブック (初版)	book	1	1		
作花清夫編	1985	朝倉書店			204	ガラスの辞典 (初版)	book	1	1		
照明学会編	1988	セラミック材料研究調査委員会			16	セラミック材料研究調査報告書 MD88-29	report	1	1		
李川宏主査	1990	ニューガラスフォーラム				シリカガラスデータベース	report	1	1	1	1
Mazurin O. V. et al.	1983	ELSEVIER Sci. Pub. B.V.			1	Handbook of Glass Data (Physical Science Data 15)	book				
Stull D. R. et al Ed.	1971	NBS			1047	JANAF Thermochemical Tables (2nd Ed.) NSRDS-NBS37	report				
Touloukian Y. S. Ed.		IFI/Plenum				Thermophysical Properties of Matter Vol.2,5,8,10,13.	book				
工藤恵栄	1972	共立出版			280	分光学的性質を主とした基礎物性図表	book				
ハーガー R. M. 他	1970	地人書館			4	シリコン集積素子技術の基礎	book	1	1		
Pantelides S. T. Ed.	1978	Pergamon				The Physics of SiO2 and it's Interfaces (Proceedings of Conf.)	book	1	1		1
Devine R. A. B. Ed.	1988	Plenum				The Physics and Technology of Amorphous SiO2 (Proceedings of Conf.)	book	1	1		1
Bruckner R.	1970	J.Non-Cryst.Solids	5		123	Properties and Structure of Vitreous Silica. I	review	1	1		
Bruckner R.	1971	J.Non-Cryst.Solids	5		177	Properties and Structure of Vitreous Silica. II	review				
重岡正文	1974	工業材料	22	6	61	石英ガラス (上)	review	1	1		
重岡正文	1974	工業材料	22	7	61	石英ガラス (下)	review				
伴一成	1985	照明学会誌	69	1	8	ランプ用ガラス (石英ガラス)	review	1			
六岡一夫	1968	照明学会誌	52	1	678	石英ガラス、高けい酸ガラス	review	1	1	1	1
General Electric	1989	ゼネラルエレクトリックカンパニー				熔融石英製品 (General Catalog 7700J)	catalog				
東芝セラミックス	1989	東芝セラミックス株式会社 化学事業部				石英ガラス (TC150.89.08.16D)	catalog	1	1		
信越石英	1990	信越石英株式会社				石英ガラス総合カタログ (QA-1)	catalog				
日本石英硝子	1988	日本石英硝子 (東ソー)				NSG QUARTZ (N.S.G.2.5K 88.11.10)	catalog	1			
GTE SYLVANIA	1990	GTE Products Corporation				Fused Quartz (R/WJSM 5190)	catalog	1			
quartz & silice		Quartz & Silice				SILICA GLASS FOR THE INDUSTRY OF SEMI CONDUCTORS	catalog				
Corning 7940	1986	Corning Glass Worker				Fused Silica Code 7940 (FS7940-12-86)	catalog				
Gnscom D.L.	1991	日本セラミック協会論文誌	99	10	923	シリカガラスにおける欠陥の光学的性質と構造	review			1	1
Gnscom D.L.	1977	J.Non-Cryst.Solids	24		155	The Electronic Structure of SiO2:A Review of Recent Spectroscopic and TH	review			1	1
Gaskell P. H. et al.	1980	Philosophical Mag.	42	2	265	Refinement of a random network model for vitreous silicon dioxide	paper			1	
Marians C. S. et al.	1990	J.Non-Cryst.Solids	119		269	Local Structure of Silica Glasses	paper			1	

石英ガラスの特性>>>

A 構造一般
製分類
法
欠陥
構造

簡単なソーダ石灰ガラスを例にとって計算してみる。

	%	重量比	f_M
SiO ₂	73.61	0.7361	
CaO	13.44	0.1344	
Na ₂ O	12.95	0.1295	

N_{Si} の計算

f_M	S_M
SiO ₂	$= 0.7361 \times 0.03330 = 0.024512$
CaO	$= 0.1344 \times 0.01783 = 0.002396$
Na ₂ O	$= 0.1296 \times 0.01613 = 0.002089$
	<u>0.0290</u>

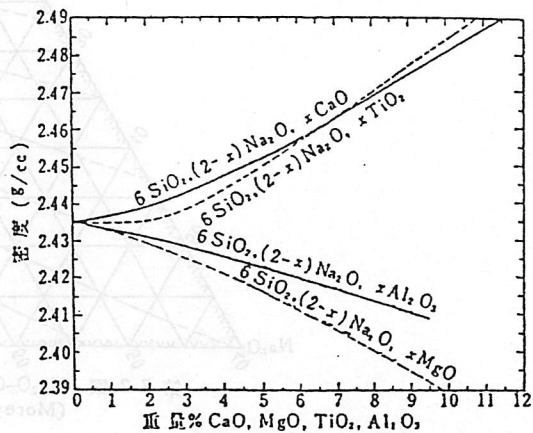
$\Sigma S_M f_M$

$$N_{Si} = \frac{0.02451}{(2)(0.0290)} = 0.422$$

比容の計算

成分	f_M	重量比	V_M	比容恒数(表C列)	成分の比容
SiO ₂	0.7361		0.4409		0.3245
CaO	0.1344		0.231		0.0310
Na ₂ O	0.1295		0.324		0.0420
					<u>0.3975</u>

$\Sigma V_M f_M = v$



第 7.1 図 $(2-x)Na_2O + x(MgO, CaO, Al_2O_3, TiO_2) + 6SiO_2$ 系の比容 (Turner および共同研究者)

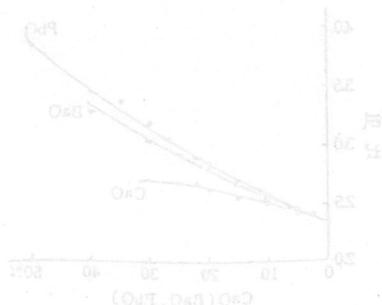
$$N_{Si} = \frac{S_{Si} f_{Si}}{(2) \Sigma S_M f_M} \longrightarrow$$

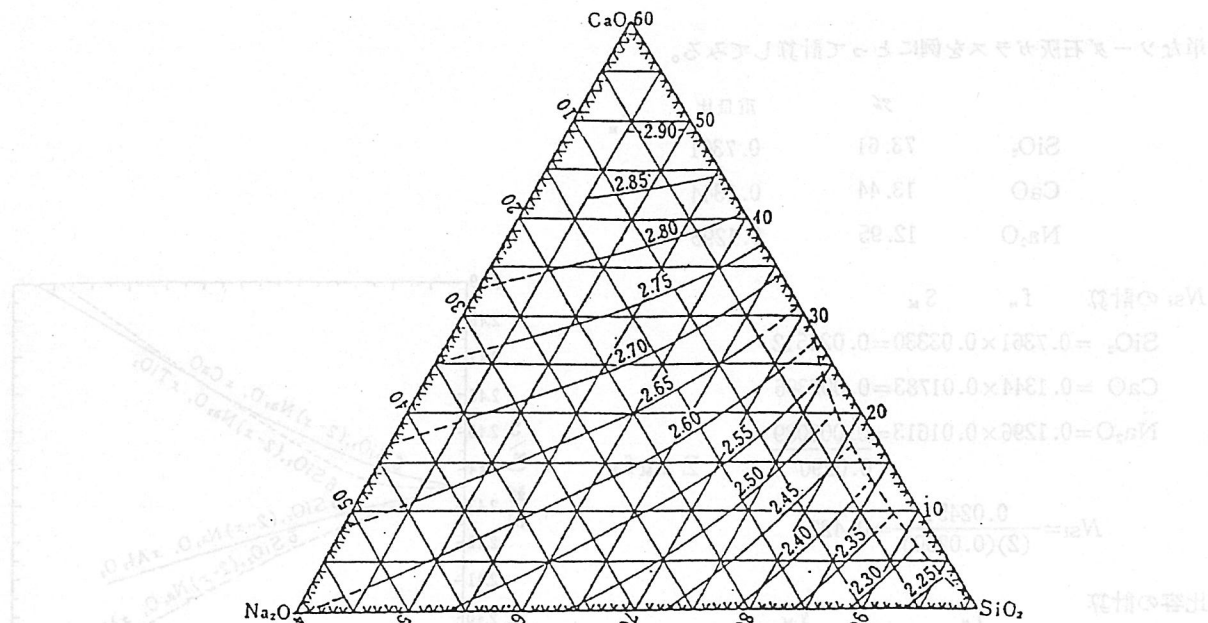
各成分の比容定数決定

$$\rho = 1/v = 2.516$$

図4.3.1 Hugginsの比重計算法

M. L. Huggins and K. H. Sun; J. Amer. Ceram. Soc., **26**, 4(1943). *ibid.*, **29**, 232(1946),
M. L. Huggins; Ind. Eng. Chem., **32**, 1433(1940)

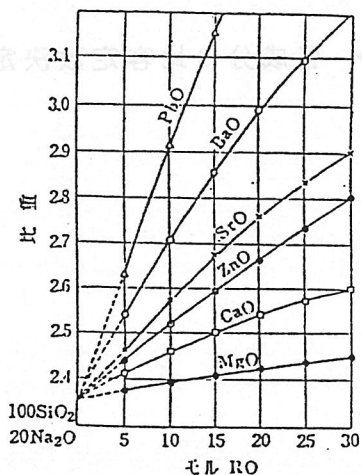




第 7.2 図 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系ガラスの成分と密度との関係 (Morey および Merwin)

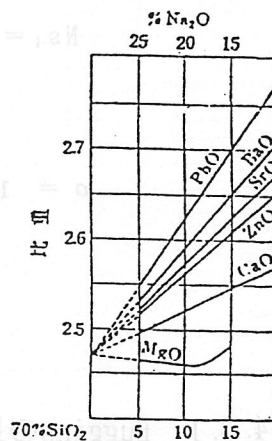
図 4.3.2 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系ガラスの成分と密度との関係

G. W. Morey and H. E. Merwin; J. Opt. Soc. Amer., 22, 632(1932)



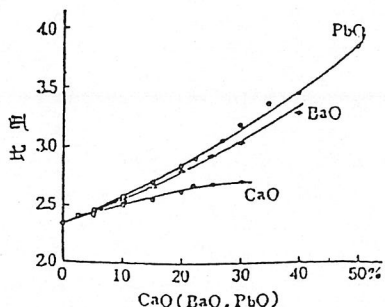
第 7.3 図 酸化物による密度の変化 $100\% \text{SiO}_2 \cdot 20\% \text{Na}_2\text{O} \cdot x\% \text{RO}$

図 4.3.3 酸化物による密度の変化



第 7.4 図 酸化物による密度の変化 $70\% \text{SiO}_2 + b\% \text{Na}_2\text{O} + c\% \text{RO}$

図 4.3.4 酸化物による密度の変化



(b) 82% ($\text{SiO}_2 + \text{Oxide}$) 18% Na_2O

図 4.3.5 酸化物による密度の変化

表4.3.1 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの高温時における密度

S. H. Li; Univ. Ill. Eng. Expt. Sta. Bull., 140, (1924)

第 7.5 表 Na₂O-CaO-SiO₂ 系ガラスの高温度における密度 (Li)

No.	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	密 度	
				1206°C	1454°C
2	82.6	17.4		2.19	2.15
3	70.0	30.0		2.42	2.41
4	60.0	40.0		2.28	2.35
5	63.0	13.6	23.4	2.61	2.59
6	60.5	20.0	19.5	2.46	2.41
7	68.1	21.9	10.0	2.31	2.26
8	70.0	20.0	10.0	2.26	2.20
9	54.25	38.0	7.75	2.26	2.28
10	70.0	10.0	20.0	2.31	2.23
12	72.25	15.1	12.1	2.28	2.23
13	73.5	16.5	10.0	2.31	2.28
15	67.5	15.5	17.0	2.48	2.45
16	64.95	19.3	15.75	2.40	2.43

表4.3.2 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの弾性率

J. R. Clark and W. E. S. Turner; J. Soc. Glass Tech., 3, 260(1919)

第 9.2 表 Na₂O-CaO-SiO₂ 系ガラスの弾性率 (Clark および Turner)

No.	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	E(kg/mm ²)	
							実測値	計算値
1	0.42	74.25	25.37		tr.	0.16	5784	5831
2	0.21	73.90	23.80		1.57	0.14	5930	5993
3	0.22	74.05	23.00		2.63	0.14	6175	6166
4	0.29	74.02	23.15		3.79	0.15	6332	6289
5	0.34	73.77	20.78	0.16	4.54	0.18	6426	6436
6	0.55	73.21	19.38	0.22	6.22	0.62	6700	6759
7	0.76	73.97	17.30	0.23	7.56	0.18	6804	6858
8	0.38	74.82	16.30	0.26	8.15	0.09	6965	6859
9	0.38	74.92	14.88	0.31	9.26	0.17	7034	6015
10	0.48	74.59	14.22	0.29	10.40	0.17	7249	7219
12	—	6 mol	0.9 mol	—	1.1 mol	—	7642	—
16	1.43	66.67	12.72	0.85	18.06	0.32	8343	8611

表4.3.3 多成分系ガラスの抗張力および圧縮強度

第 10.2 表 ガラスの抗張力および圧縮強度
(Winkelman and Schott)

No.	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	ZnO	BaO	PbO	As ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	抗張力 (kg/cm ²) 最大値
S 208			20.0							80.0				3.53
O 165			29.3		3.0					67.5	0.2			5.32
O 102			41.0		7.0					51.7	0.2	0.1		5.39
S 219	10.0	3.0			12.0	4.0					1.5		69.5	5.56
S 196	18.0	69.1		8.0					4.7		0.2			5.76
O 118			44.2	0.5	8.0					47.0	0.2	0.1		6.07
O 658	7.0	31.0	32.75	1.0	3.0					25.0	0.25			6.12
O 60		2.7	64.6	5.0	15.0			2.0	10.2		0.4	0.1		6.76
VS1419	1.0		67.9	16.8				5.8		8.1	0.3	0.1		6.79
O 802	5.0	14.0	71.0	10.0										6.95
O 1209	5.0	10.2	34.5					7.8	42.0		0.5			7.52
S 206	8.0	3.0							28.0		1.5		59.5	7.63
290			58.7		33.0	8.0					0.3			7.82
W 34	4.5	12.0	70.2	10.3		3.0								8.16
W 32			54.8		28.0			17.0			0.2			8.32
165III	3.5		73.8	10.5			7.0	5.0			0.2			8.35
O 709			70.6	17.0				12.0			0.4			8.51

No.	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	ZnO	BaO	PbO	As ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	圧縮強度 (kg/mm ²)
S 208			20.0							80.0				60.6
O 165			29.3		3.0					67.5	0.2			67.3
290			58.7		33.0	8.0					0.3			68.3
S 219	10.0	3.0			12.0	4.0					1.5		69.5	71.7
W 32			51.8		28.0			17.0			0.2			73.9
S 206	8.0	3.0							28.0		1.5		69.5	74.6
O 118			44.2	0.5	8.0					47.0	0.2	0.1		77.5
S 196	18.0	69.1		8.0					4.7		0.2			81.2
O 1209	5.0	10.2	34.5					7.8	42.0		0.5			84.0
O 102			41.0		7.0					51.7	0.2	0.1		84.3
O 60		2.7	64.6	5.0	15.0			2.0	10.2		0.4	0.1		91.6
W 34	4.5	12.0	70.2	10.3		3.0								96.3 ¹⁾
O 709			70.6	17.0				12.0			0.4			97.8
VS1419	1.0		67.9	16.8				5.8		8.1	0.3	0.1		99.0
W 34	4.5	12.0	70.2	10.3		3.0								99.3 ²⁾
O 658	7.0	31.0	32.75	1.0	3.0					25.0	0.25			105.7
165III	3.5		73.8	10.5			7.0	5.0				0.2		112.9 ²⁾
165III	3.5		73.8	10.5			7.0	5.0				0.2		113.6 ¹⁾
O 802	5.0	14.0	71.0	10.0										120.8

表4.3.4 多成分系ガラスの硬度

第 10.3 表 ガラスの密度, 強度, 硬度および研磨減 (Lecrenier)

No.	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	PbO	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	密度	抗張力 (kilobars)	圧縮強度 (kilobars)	硬 度 (Auer- bach)	容積(cc) 1分研磨
1	55.20		9.92		34.81	0.25	3.227	0.581	8.36	265	1.696
2	49.17		9.39		41.17	0.25	3.342	0.544	7.93	262	1.593
3	58.35	7.87	3.91		29.42	0.30	3.006	0.606	8.49	233	1.301
4	61.74	7.40	1.38	3.73	25.00	0.60	2.971	0.694	8.78	202	1.069
5	61.00	11.24				0.60	2.876	0.692	7.58	231	0.964
6	71.66	13.85		11.48	2.41	0.50	2.541	0.890	8.98	133	0.933
7	67.91		20.52	10.82		0.60	2.497	0.918	8.57	243	0.888
8	72.04	17.02		10.19		0.60	2.521	0.870	8.99	134	0.854
9	73.08	15.84		10.33		0.60	2.504	0.880	9.11	141	0.794
10	72.19	15.62		11.38		0.50	2.547	0.896	9.02	130	0.754
11	73.26	14.43		11.71		0.45	2.513	0.905	9.14	131	0.733
12	68.43	15.83	3.40	8.03		0.65	2.503	0.802	8.77	226	0.544

表4.3.5 多成分系ガラスの硬度

第 8.3 表 試験ガラスの硬度 (Parmelee および Lyon)

No.	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	硬 度
1	73.50	15.68	4.38	6.07	0.35	5.42
2	70.92	15.70	4.14	5.88	3.36	5.51
3	69.90	15.63	3.92	5.75	4.75	5.65
4	69.73	15.39	3.60	4.95	6.33	5.56
5	69.00	13.78	3.90	5.61	7.71	5.71
6	72.7	15.4		10.7	1.2	5.48
7	72.5	15.6		11.2	0.7	5.51
8	72.7	13.7		12.9	0.7	5.81
9	72.6	15.4		10.5	1.5	5.40
10	71.8	15.3		10.6	2.3	5.38
11	72.5	13.7		11.5	2.3	5.58
12	100					6.31

表4.3.6 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの線膨張係数

第 13.11 表 Na₂O-CaO-SiO₂ 系の線膨張係数 "Average Transition Points". 転移温度 (T_σ) および軟化温度 (M_σ) まで (Seddon, Turner および Winks) $10^6\alpha = \frac{1}{l_i} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}$

No.	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	T _σ	M _σ	t ₁ -75° 0-75°	t ₂ -190° 75-190°	t ₃ -240° 190-240°	t ₄ -310° 240-310°	t ₅ -370° 310-370°	370-T _σ	T _σ -M _σ
151	75.94	12.04	12.00	524	585	744	760	806	853	881	941	1629
152	75.25	9.37	15.38	500	560	844	878	915	986	1031	1059	1739
153	74.70	6.91	18.39	489	542	916	937	1004	1047	1075	1158	1562
154	74.75	4.80	19.91	457	516	998	1005	1072	1137	1157	1210	1712
155	74.65	2.69	22.66	454	497	1054	1068	1152	1216	1233	1305	1905
156	76.00	12.26	11.74	519	586	723	750	776	846	858	933	1552
157	75.80	10.21	13.99	518	577	796	824	856	913	923	1019	1696
158	81.19	8.07	10.52	512	577	658	654	680	680	740	786	1511
159	74.07	10.01	15.45	512	568	858	887	940	1000	1020	1118	1986
160	70.27	14.08	15.49	520	584	898	938	1006	1057	1087	1199	2117
161	72.87	10.06	16.96	482	542	895	931	1020	1020	1095	1182	1580
162	70.64	14.41	15.00	522	570	874	918	946	957	1028	1141	1672
163	73.21	11.85	14.91	519	562							

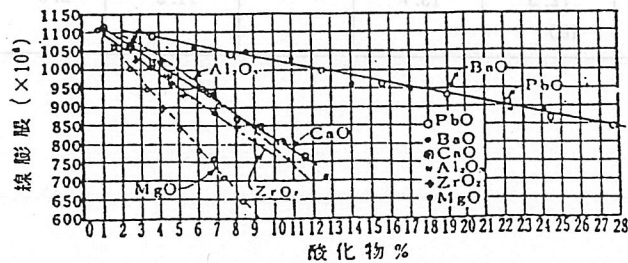
表4.3.7 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの線膨張係数

第 13.12 表 加熱速度の影響 Na₂O-CaO-SiO₂ ガラスの線膨張係数 (Seddon および Turner) α=10⁵

	0~100°C		100~200°C		200~300°C		300~400°C		400~500°C	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
P 152	843	839	902	903	950	928	1014	1027	1068	1002
窓ガラス	821	851	853	889	922	886	1004	974	1023	995

	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃
P 152	72.35	15.38	9.37			
窓ガラス	72.01	12.70	13.11	1.92	0.20	0.17

[注] P 152: 試験ガラス
A: 加熱速度 1°C/min
B: " 1/6°C/min



第 13.6 図 各種酸化物の線膨張係数に及ぼす影響, 基礎ガラス 2Na₂O·6SiO₂ (Turner)

図4.3.6 各種酸化物の線膨張係数に及ぼす影響

表4.3.8 多成分系ガラスの線膨張係数

第 13.21 表 多成分ガラスの膨張係数 (Karkhanavala および Hummel) $\alpha \times 10^7$

モル成分	室温~ 150°C	150~ 300°	300~ 450°	450°~ s. p	軟化点 s. p(°C)
Na ₂ O-MgO-5SiO ₂	69.6	89.6	99.0	102.5	591
Na ₂ O-0.75MgO-0.25CuO-5SiO ₂	76.2	91.3	98.0	205.4	550
Na ₂ O-0.5MgO-0.5CuO-5SiO ₂	75.4	86.7	116.7	282.7	520
Na ₂ O-0.25MgO-0.75CuO-5SiO ₂	74.8	81.4	114.5	253.0	490
Na ₂ O-CuO-5SiO ₂	78.0	89.0	134.3	176.2	474
Na ₂ O-SrO-5SiO ₂	83.1	98.3	119.3	130.2	565
Na ₂ O-0.75SrO-0.25PbO-5SiO ₂	80.1	103.9	121.5	186.0	550
Na ₂ O-0.5SrO-0.5PbO-5SiO ₂	77.4	112.3	118.3	154.3	510
Na ₂ O-0.25SrO-0.75PbO-5SiO ₂	75.9	92.7	110.2	188.5	499
Na ₂ O-PbO-5SiO ₂	77.8	94.0	95.0	—	456
Na ₂ O-MgO-4SiO ₂	71.4	104.2	109.6	116.1	575
Na ₂ O-MgO-3SiO ₂	81.4	114.2	127.5	162.1	565
Na ₂ O-MgO-2SiO ₂	83.8	130.8	151.0	124.0	560
Na ₂ O-CaO-5SiO ₂	78.2	106.3	111.8	113.5	580
Na ₂ O-CaO-4SiO ₂	85.8	115.0	133.1	117.0	570
Na ₂ O-CaO-3SiO ₂	91.0	123.9	140.1	137.1	566
Na ₂ O-CaO-2SiO ₂	95.3	130.8	158.3	105.9	560
Na ₂ O-SrO-4SiO ₂	84.1	120.2	118.4	139.0	562
Na ₂ O-SrO-3SiO ₂	85.0	127.8	142.5	155.0	560
Na ₂ O-SrO-2SiO ₂	105.0	148.3	187.9	239.0	500
Na ₂ O-BaO-5SiO ₂	93.0	135.0	158.2	183.5	510
Na ₂ O-BaO-4SiO ₂	97.0	141.5	165.0	136.5	488
Na ₂ O-BaO-3SiO ₂	98.6	139.0	158.4	160.0	503
Na ₂ O-BaO-2SiO ₂	100.2	133.8	149.9	153.2	504

表4.3.9 線膨張係数計算の各成分因子の諸提案

- A. Winkelmann and O. Schott; Ann. Physik, 51, 735(1894)
- S. English and W. E. S. Turner; J. Smer. Ceram. Soc., 10, 511(1927)
- P. Gilard and L. Dubrul; Verre silicates ind., 5, 122. 141(1934); ibid., 9, 25. 37, 50(1938)
- M. A. Danzin; Compt. rend., 288, 561(1949)

第 19・2 表 ガラスの線膨張係数因子
(ガラス組成は重量%, この因子で算出される数値は $\alpha \times 10^4$)

成分酸化物	Winkelmann and Schott ^{a)}	English and Turner ^{b)} (0°C または 常温より 100°C の範囲)	Gilard and Dubrul ^{c)}	Danzin ^{d)} (25~325°C)
SiO ₂	2.67	0.5	0.4	0.67
TiO ₂	(13.67)	(2.0)	2.0	
ZrO ₂	(7.0)	2.3	1.25-0.25p	
B ₂ O ₃	0.333	-6.53a	-4+0.1p	4.33
Al ₂ O ₃	16.67	1.4	2.0	5.5
Fe ₂ O ₃	(13.3)		1.5+0.2p	
BeO	(15.7)	(0)	-4	
MgO	0.333	4.5	0	6.67
CaO	16.67	16.3	7.5+0.35p	16.0
SrO		(18.6)		
BaO	10	14.0	9.1+0.14p	11.3
ZnO	6.0	7.0	7.75-0.125p	5.33
PbO	10	10.6	11.5-0.05p	8.33
MnO			7.0+0.15p	
Li ₂ O	6.67	(49.0)	59.5-0.5p	
Na ₂ O	33.3	41.6b	51.0-0.333p	56.7-p
K ₂ O	28.3	39.0	42.0-0.333p	56.7-0.333p ^c
Rb ₂ O		(27.0)	28.0-0.25p	50.0-p ^c
				50.0-0.333p ^c

(成瀬: "ガラス工学")

備考
 本欄の()中の数値は, Mayer および Havas^{a)} の因子である。
 本欄の()中の数値は, Stanworth^{b)} の因子。
 a: B₂O₃, 12% 以下のみ。
 b: 43.2 と後に訂正した。
 p: 成分酸化物の重量%
 c: (B₂O₃+PbO) % が 15% 以下のときは上りの値を, 15% 以上のときは下りの値を使用する。

表4.3.10 種々の材料の熱伝導率

Kingerf, Brawn, Uhlman(小松, 佐多, 他共訳); “セラミックス材料科学入門 (応用編)”
内田老鶴圃, p. 567(1981)

表 9-3 種々の材料の 100°C での熱伝導率⁶⁾

材 料	熱伝導率 (cal/sec/cm/°C)
石英ガラス	0.0048 (100°C)
ソーダ石灰ガラス	0.004
Al ₂ O ₃	0.072
BeO	0.525
MgO	0.090
陶磁器	0.004
黒鉛	0.43
白金	約 0.7

表4.3.12 試験ガラスの熱伝導率

第 11.6 表 試験ガラスの熱伝導率 (Russ)

$$\lambda = 10^{-3} \text{ cal. cm}^{-2}\text{sec}^{-1}(\text{°C, cm}^{-1})^{-1}$$

5. 18% Na₂O, 82%(SiO₂+CaO)

% CaO	0°	100°
5	2.228	2.491
10	2.172	2.426
15	2.162	2.320

表4.3.11 熱伝導率計算のための係数

A. Russ; Sprechsaal, 15, 907(1928)

第 11.7 表 伝導率計算に用いる係数 (Russ)

酸化物	熱伝導度係数 (x)	密度係数 (z)
SiO ₂	3.00	2.30
B ₂ O ₃	3.70	2.35
Na ₂ O	10.70	3.20
K ₂ O	13.40	2.90
CaO	8.80	3.90
BaO	11.85	7.10
ZnO	8.65	5.90
PbO	11.70	10.00
MgO	4.55	3.90
Al ₂ O ₃	6.25	3.20
Fe ₂ O ₃	6.55	3.87

$$\frac{1}{K} = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots$$

K : 熱伝導度

b : 各成分の容量(%)

x : 各成分の伝導度係数

b は次式から計算する。

$$b_1 = \frac{100a_1/Z_1}{\sum a/Z}$$

a₁, a₂, ... 各成分の重量(%)

Z₁, Z₂, ... 各成分の密度係数

Russ は上式の x および Z の値として第

11.7 表を与えている。

次に簡単なガラスの計算例をあげてみる。ガラスの成分 SiO₂ 72%, CaO 10%, Na₂O 18%

	a	a/Z	b = 100 $\frac{a_n/Z_n}{\sum a/Z}$
SiO ₂	72	31.3	79.28
CaO	10	2.56	6.48
Na ₂ O	18	5.62	14.24
		$\sum a/Z = 39.48$	

$$\begin{aligned} \frac{1}{K} &= b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \\ &= 79.28(3.00) + 6.48(8.80) + 14.24(10.70) \\ &= 447 \end{aligned}$$

た。試料には普通のソーダ石灰ガラスを用いた。

ガラスの成分

No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	CuO	Na ₂ O	SO ₃	Total	FeO
2	67.98	4.01	0.038	10.82	0.0009	16.63	0.12	99.60	0.0059
5	72.30	0.35	0.033	14.40	0.0005	12.50	0.14	99.72	0.0075

熱拡散率は温度が上るに従って増加し、
温度との関係は次式のような指数式で表わ
される。

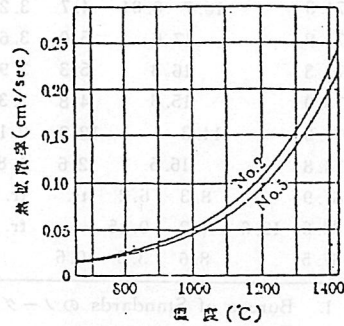
$$1000h^2 = a + bT$$

h^2 : 熱拡散率 (cm²/sec)

a, b : ガラスに関する恒数

T : 温度 (°C)

測定結果を第 11.2 図に示す。



第 11.2 図 熱拡散率

図4. 3. 7 熱拡散率と温度の関係

表4. 3. 13 平均比熱計算のための因子

D. E. Sharp and L. B. Ginther; J. Amer. Ceram. Soc., 34, 260(1951)

によって変動する。比熱と温度との関係は、かなり複雑な理論式が与えられているが、工
学上の計算では下記のような実験式で十分その目的を達することができる。

Sharp および Ginther¹³⁾ は 0~1300°C の平均比熱 c_m を与える実験式として、

$$c_m = \frac{at + c_0}{0.00146t + 1} \dots\dots\dots (19 \cdot 5)$$

を提案している。ここに c_m は 0°C と t °C との間の平均比熱、 a, c_0 はガラスについて
の定数で、ガラスの各成分につき、適当な因子とその成分の重量比を乗じ、それらの積
を全成分について加算して求められる。この計算のための各成分因子は第 19・5 表に示す
通りである。

温度 t における真比熱 c_t は、(19・5) 式で求めた c_m を用い、次式にその数値を入れ
ることによって計算される。

$$c_t = \frac{at + c_m}{0.00146t + 1} \dots\dots\dots (19 \cdot 6)$$

また特定の二つの温度 t_1, t_2 の間の平均比熱 c_x を算出するには次式を使う。

$$c_x = c_2 + \frac{t_1}{t_2 - t_1} (c_1 - c_2) \dots\dots\dots (19 \cdot 7)$$

ここに、 c_1, c_2 はそれぞれ 0~ t_1 °C、0~ t_2 °C の平均比熱。

なお、実用ガラスの比熱のデータとして、Parmelee および Badger¹⁴⁾ の測定値を第
19・6 表に掲げておく。

第 19・5 表 平均比熱計算用因子 (Sharp および Ginther)

成分 酸化物	a -因子	c_0 -因子
SiO ₂	0.000468	0.1657
Al ₂ O ₃	0.000453	0.1765
CaO	0.000410	0.1709
MgO	0.000514	0.2142
Na ₂ O	0.000329	0.2229
K ₂ O	0.000335	0.2019
B ₂ O ₃	0.000635	0.198
SO ₃	0.00083	0.189

表4.3.14 実用ガラスの平均比熱

C. W. Parmelee and A. E. Badger; Univ. Ill. Eng. Expt., Sta. Bull., 271, (1934)

第 19・6 表 実用ガラスの平均比熱 (Parmelee および Badger)

No.	ガラス組成 %									平均比熱	
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	40~800°C	40~1000°C
1	74.3		16.7	0.01	4.7	3.2		0.33	0.07	0.280	0.292
2	71.9		17.6		5.0	3.6		1.21	0.07	0.268	0.290
3	73.3		16.3		5.3	3.9		0.48		0.280	0.285
4	75.0		15.8		4.8	3.3		1.13		0.265	0.293
5	71.6		14.3		12.9	0.1		0.54	0.12	0.274	0.289
6	74.8		16.5		2.6	1.8		4.35		0.279	0.281
7	61.9		8.3	6.2	tr.	tr.	22.2	1.00	0.15	0.211	0.224
8	80.6	12.6	4.2	0.15		tr.		1.92	0.08	0.271	0.287
9	67.5		8.6	3.3	10.6		0.1	6.01	0.08	—	0.269

(成瀬; ガラス工学)

- [注] 1. Bureau of Standards のソーダ石灰標準ガラス, SO₂ 0.41%.
 2. 電球バルブ, SO₂ 0.41%.
 3. ビンガラス, BaO 0.24%.
 4. 牛乳ビンガラス.
 5. 板ガラス, SO₂ 0.37%, Cl₂ 0.04%.
 6. ビンガラス.
 7. 電球バルブ用鉛ガラス, As₂O₃ 0.2%.
 8. Bureau of Standards の珪酸標準ガラス, 微量成分 0.31%.
 9. オバルガラス, F 5.7%, 微量成分 0.54%.

$$1/K = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots (19 \cdot 8)$$

ここに, K はガラスの熱伝導率 (cal/cm·sec·°C), b は各成分の容量百分率, x は各成分酸化物の伝導率因子。この中で容量百分率は, 各成分ごとに, その重量百分率 $a\%$ と比重因子 ϵ とから, 次式によって求めるのである。

$$b_n = \frac{100a_n \epsilon_n}{\sum a_i \epsilon_i} \dots (19 \cdot 9)$$

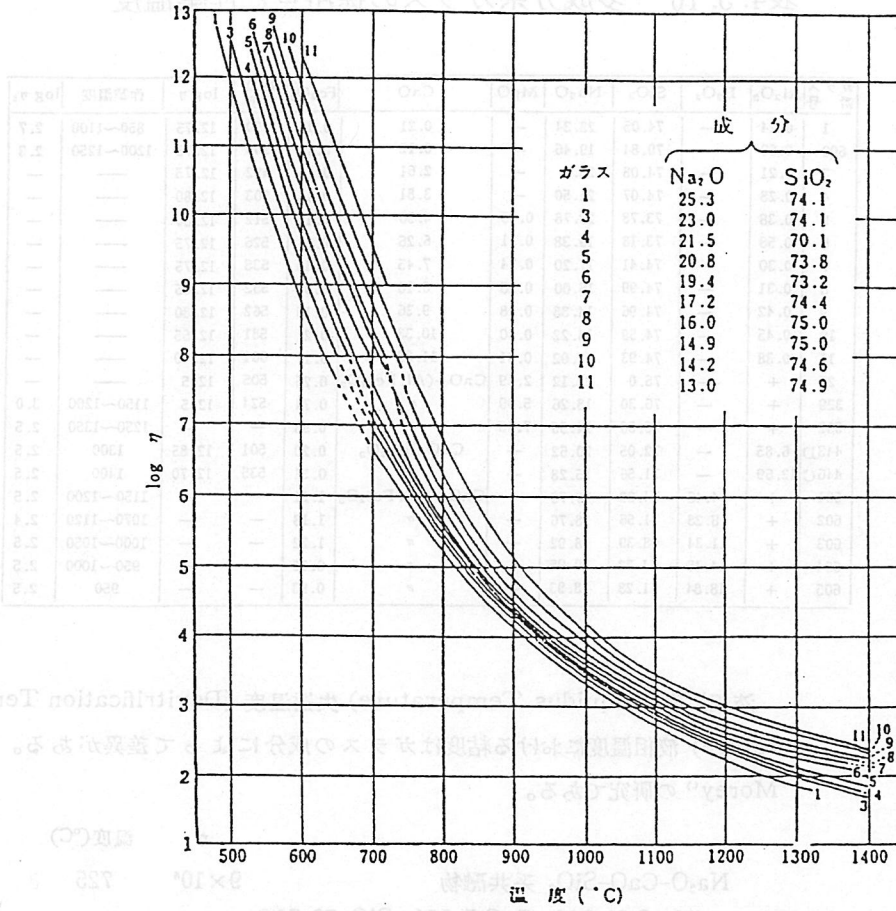
つまり, 熱伝導率 K は, 各成分についての伝導率因子 x と比重因子 ϵ の2種類の因子を使用して計算される。それらの因子としては, Russ⁽¹⁾ によって第 19・7 表のような値が与えられている。

石英ガラスの熱伝導率は, 0°C で 0.0032, 100°C で 0.00457 cal/cm·sec·°C と測定されており, 普通の実用ガラスの多くは, 0°C で 0.0018~0.0028, 100°C で 0.0020~0.0032 cal/cm·sec·°C である。

表4.3.15 ガラスの比熱

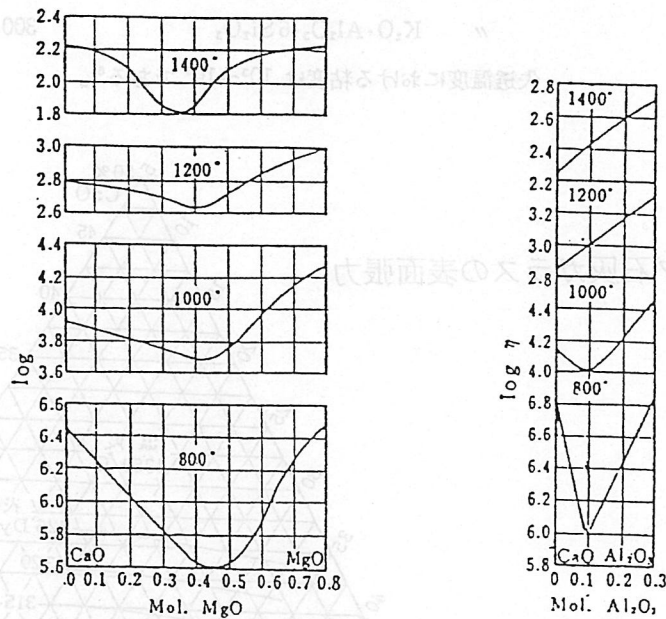
第 11.1 表 ガラスの比熱 (Winkelmann)

種類	成 分														比 熱		
	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	ZnO	BaO	PbO	As ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Li ₂ O	P ₂ O ₅	実験値 C _p	計算値 C _{p'}	C _p -C _{p'} (%)
S 185	22.4	71.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.8	—	0.2318	0.2415	-4.2
S 205	18.0	69.1	—	8.0	—	—	—	—	4.7	—	0.2	—	—	—	0.2182	0.2192	-0.5
172 III	4.5	12.0	64.4	8.0	—	11.0	—	—	—	—	—	0.1	—	—	0.2086	0.2080	+0.3
164 III	17.0	—	55.0	14.0	14.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2044	0.2040	+0.2
802	5.0	14.0	71.0	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2028	0.2049	-0.5
16 III	2.5	2.0	67.3	14.0	—	—	7.0	7.0	—	—	—	0.2	—	—	0.1938	0.1983	+0.3
165 III	3.5	—	73.8	10.5	—	—	7.0	5.0	—	—	—	0.2	—	—	0.1958	0.1964	-0.3
1419	1.0	—	67.9	16.8	—	—	—	5.8	—	8.1	0.3	0.1	—	—	0.1907	0.1888	+1.0
O 225	10.0	3.0	—	—	12.0	4.0	—	—	—	—	0.5	—	—	70.5	0.1901	0.1911	-2.3
290	—	—	—	53.7	—	—	—	0.8	—	—	—	0.3	—	—	0.1837	0.1893	-0.3
665	—	41.0	—	—	—	—	—	59.0	—	—	—	—	—	—	0.1644	0.1668	-1.5
121 III	4.5	14.0	51.3	—	—	—	—	5.0	25.0	—	0.2	—	—	—	0.1617	0.1626	-0.6
S 206	8.0	3.0	—	—	—	—	—	—	28.0	—	1.5	—	—	59.5	0.1589	0.1573	+0.9
S 95	1.5	3.0	—	—	—	—	—	—	38.0	—	1.5	—	—	56.0	0.1464	0.1439	+1.0
1442	5.0	10.2	34.2	—	—	—	—	7.8	42.1	—	0.7	—	—	—	0.1388	0.1379	+1.4
S 120	5.0	42.8	—	—	—	—	—	—	—	52.0	0.2	—	—	—	0.1359	0.1341	+1.1
O 331	—	—	45.22	1.0	7.5	—	—	—	—	46.0	0.2	0.08	—	—	0.01257	0.1272	-1.2
S 163	—	—	22.0	—	—	—	—	—	—	78.0	—	—	—	—	0.01874	0.08201	-0.3



第 4.7 図 (2-x) Na₂O · x CaO · 6 SiO₂ ガラスの粘度

図 4.3.8 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの温度による粘度変化



第 4.13 図 (a)

1.2 Na₂O · 0.8 CaO · 6 SiO₂ において CaO を MgO にて置換したときの粘度

第 4.13 図 (b)

1.1 Na₂O · 0.9 CaO · 6 SiO₂ において CaO を Al₂O₃ にて置換したときの粘度

図 4.3.9 酸化物置換による粘度変化

表4.3.16 多成分系ガラスの徐冷点と作業温度

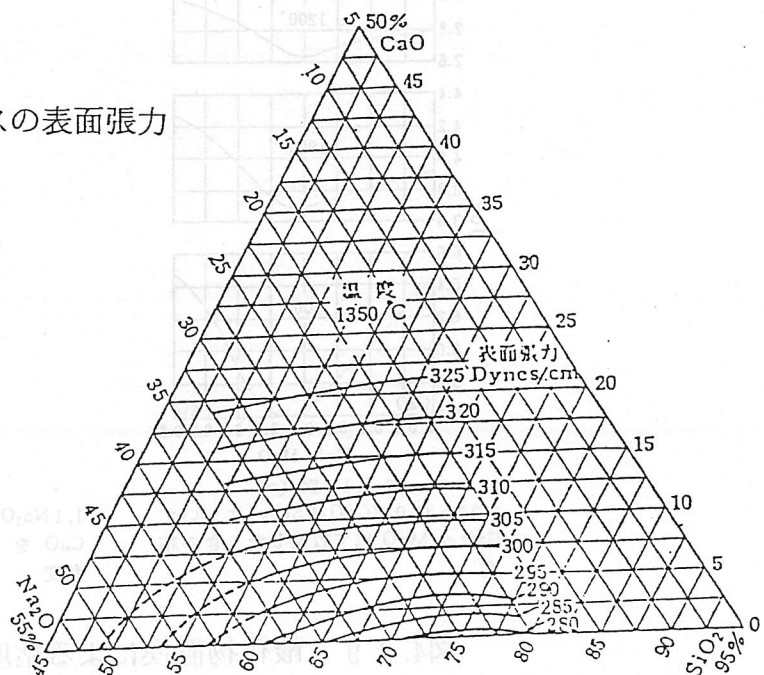
ガラス 番号	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	徐冷 温度	log η	作業温度	log η ₁
1	0.24	—	74.05	28.34	—	0.21	0.14	490	12.75	850~1100	2.7
600	0.69	—	79.84	19.46	—	0.12	0.11	505	12.75	1200~1250	2.3
3	0.21	—	74.08	23.0	—	2.61	0.15	492	12.75	—	—
4	0.28	—	74.07	21.50	—	3.81	0.14	503	12.80	—	—
5	0.38	—	73.78	20.78	0.15	4.50	0.19	512	12.80	—	—
6	0.53	—	73.18	19.38	0.21	6.26	0.61	526	12.75	—	—
7	0.30	—	74.41	17.20	0.24	7.45	0.40	538	12.75	—	—
8	0.31	—	74.99	16.00	0.26	8.16	0.09	552	12.65	—	—
9	0.42	—	74.96	14.88	0.28	9.36	0.16	562	12.80	—	—
10	0.45	—	74.59	14.22	0.30	10.38	0.21	581	12.65	—	—
11	0.38	—	74.93	13.02	0.31	11.68	0.17	601	12.40	—	—
26	+	—	75.0	22.12	2.49	CaO+(Al, Fe) ₂ O ₃	0.26	505	12.5	—	—
329	+	—	76.30	18.26	5.09	"	0.74	524	12.5	1150~1200	3.0
332	+	—	76.86	14.55	7.46	"	0.93	—	—	1250~1350	2.5
443D	6.85	—	72.05	20.62	—	CaO+Fe ₂ O ₃	0.20	501	12.85	1300	2.5
446C	12.69	—	71.56	15.28	—	"	0.31	535	12.70	1400	2.5
601	+	4.46	74.22	19.78	—	CaO+(Al, Fe) ₂ O ₃	1.21	—	—	1150~1200	2.5
602	+	8.28	71.56	18.76	—	"	1.18	—	—	1070~1120	2.4
603	+	11.34	68.39	18.92	—	"	1.22	—	—	1000~1050	2.5
604	+	14.45	64.72	19.95	—	"	0.92	—	—	950~1000	2.5
605	+	18.84	61.28	18.93	—	"	0.93	—	—	950	2.5

液相温度 (Liquidus Temperature) 失透温度 (Devitrification Temperature) 液相温度における粘度はガラスの成分によって差異がある。次は Morey¹⁾ の研究である。

	η	温度(°C)
Na ₂ O-CaO-SiO ₂ 系共融物 (Na ₂ O 21.3%, CaO 5.2%, SiO ₂ 73.5%)	9×10 ⁶	725
Na ₂ O·2SiO ₂ -SiO ₂ 共融物 (Na ₂ O 26.1%, SiO ₂ 73.9%)	2×10 ⁵	793
化合物 Na ₂ O·2SiO ₂	2.6×10 ⁴	874
" Na ₂ O·SiO ₂	14	1100
" K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6Si ₂ O ₃	300×10 ⁶	1200

失透温度における粘度は 10³~10⁸ である²⁾。

図4.3.10 ソーダ石灰ガラスの表面張力



第 5.7 図 ソーダ石灰ガラスの表面張力 (dynes/cm, 1350°C)

表4.3.17 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの徐冷点

第 6.5 表 徐冷温度と成分

(1) Na₂O-CaO-SiO₂ 系¹⁾

試料番号	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	As ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	上の徐冷温度(°C)
1	0.24	74.05	25.34	tr.	0.21		0.14	490
2	0.20	73.92	23.80	"	1.50		0.14	496
3	0.21	74.08	23.00	"	2.61		0.15	501
4	0.28	74.07	21.50	"	3.81		0.14	508
5	0.38	73.78	20.78	0.15	4.50		0.19	512
6	0.58	73.18	19.38	0.21	6.26		0.61	526
7	0.30	74.41	17.20	0.24	7.45		0.40	538
8	0.31	74.99	16.00	0.26	8.16		0.09	552
9	0.42	74.96	14.88	0.28	9.36		0.16	562
10	0.45	74.59	14.22	0.30	10.38		0.21	581
11	0.38	74.93	13.02	0.31	11.68		0.17	601
16	1.41	66.71	12.72	0.85	18.17	0.30	0.31	608
17	0.50	69.73	11.22	0.55	17.38	0.47	0.25	613

表4.3.18 ガラス管がつぶれる温度

第 10.10 表 ガラス管のつぶれる温度 (Laubengayer)

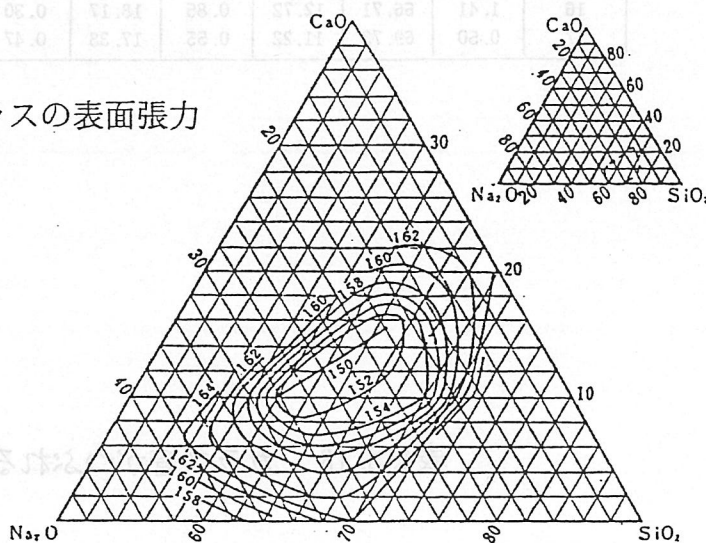
	温 度 (°C)	
	常 圧	減 圧 (3mm)
軟質ソーダ石灰, Greiner and Fredericks	700	585
抵抗性, Greiner and Fredericks	750	635
パイレックス, Corning glass works.	820	670
燃焼管, Bohemia	860	740
" , Moncrieff.	820	770

表4.3.19 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの表面張力

第 5.4 表 Na₂O-CaO-SiO₂ 系ガラスの表面張力 (Washburn など)

ガラス番号	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	表面張力 (dynes/cm)		$\frac{\Delta r}{\Delta t}$
				1206°C	1454°C	
2	82.6	17.4			153.7	
3	70.0	30.0		164.0	148.8	0.061
4	60.0	40.0		156.1	152.6	0.010
5	63.0	13.6	23.4	164.1	158.7	0.022
6	60.5	20.0	19.5	159.6	128.0	0.013
7	68.1	21.9	10.0	150.0	145.9	0.0165
8	70.0	20.0	10.0	153.6	140.4	0.054
9	54.25	38.0	7.75	165.4	153.7	0.047
10	70.0	10.0	20.0	164.0	156.4	0.031
12	72.25	15.1	12.1		151.6	0.030
13	73.5	16.5	10.0	166.9	159.4	0.030
15	67.5	15.5	17.0	158.7	145.4	0.0546
16	64.95	19.3	15.75	150.1	138.6	0.0465

図4.3.11 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの表面張力

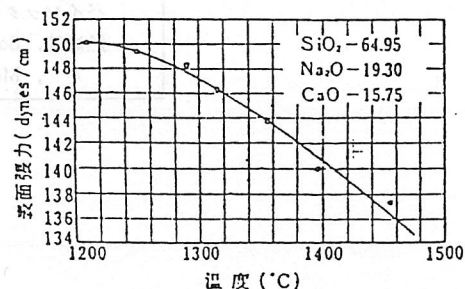


第 5.10 図 Na₂O-CaO-SiO₂ 系ガラスの表面張力 (dynes/cm, 1206°C) (Washburn など)

表4.3.20 表面張力計算のための因子

第 5.5 表 表面張力の係数 (Lyon, Dietzel)

	Na ₂ O-CaO-SiO ₂ ガラス型 SiO ₂ : Na ₂ O > 3.25 温度 1200°C (Lyon による)	エナメル型ガラス 温度 900°C (Dietzelによる)
Li ₂ O	.....	4.6
Na ₂ O	1.27	1.5
K ₂ O	0.0(約)	0.1
MgO	5.77	6.6
CaO	4.92	4.8
BaO	3.7(約)	3.7
PbO	.....	1.2
ZnO	.....	4.7
B ₂ O ₃	0.23	0.8
Al ₂ O ₃	5.98	6.2
SiO ₂	3.25	3.4
TiO ₂	.....	3.0
V ₂ O ₅	.....	-6.1
ZrO ₂	.....	4.1
CaF ₂	.....	3.7
Fe ₂ O ₃	4.5(約)	4.5
CoO	.....	4.5
NiO	.....	4.5
MnO	.....	4.5



第 5.11 図 表面張力と温度との関係 (Washburn など)

図4.3.12 表面張力と温度の関係

表4.3.21 多成分系ガラスの電気伝導度と誘電率

第 17.4 表 ガラスの電気伝導度および誘電率 (Moore および De Silva)

No.	wt (%)						Λ	誘電率				
	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	K ₂ O		25°	50°	100°	150°	200°
1	74	10	16				4.25	7.95	8.25	9.63		
2	73	10	17				4.08	8.35	8.70	10.77		
3	72	10	18				4.09	8.42	8.82	10.90		
4	71	10	19				4.08	8.40	8.95	11.51		
5	70	10	20				3.99	8.55	9.15	12.10		
6	74	10	16				4.25	7.95	8.25	9.63		
7	74	9	17				4.17	8.01	8.38	10.05		
8	74	8	18				4.10	8.00	8.50	10.50		
9	74	7	19				4.07	8.05	8.52	10.80		
10	74	6	20				3.92	8.35	9.00	12.15		
11	73	10	16	1			4.19	8.05	8.42	10.05		
12	72	10	16	2			4.16	8.18	8.59	10.35		
13	71	10	16	3			4.13	8.21	8.59	10.35		
14	70	10	16	4			4.10	8.15	8.59	10.44		
15	69	10	16	5			4.15	8.56	9.00	10.96		
16	73.6	9.5	13.4	0.3	2.7		4.44	7.65	7.92	8.93		
17	74.5	8.1	11.3	0.3	5.0		4.66	7.20	7.40	8.08		
20	72.8	7.4	8.5	3.2	7.2		4.49	6.95	7.14	7.89		
21	73.1	6.0	7.1	3.0	10.4		4.46	6.30	6.51	7.19		
22	74	10	14			2	4.84	(7.58)		(8.63)		
23	74	10	12			4	5.06	7.30		7.90	9.38	
24	74	10	10			6	5.54	7.15		7.46	8.14	10.25
25	74	10	8			8	5.76	7.09		7.31	7.71	8.98
26	74	10	6			10	5.88	7.04		7.25	7.58	8.38
27	74	10	4			12	5.84	7.01		7.15	7.42	8.11
28	74	10	2			14	5.94	6.93		7.17	7.44	8.16
29	74	10	0			16	5.34	6.97		7.25	7.69	8.75

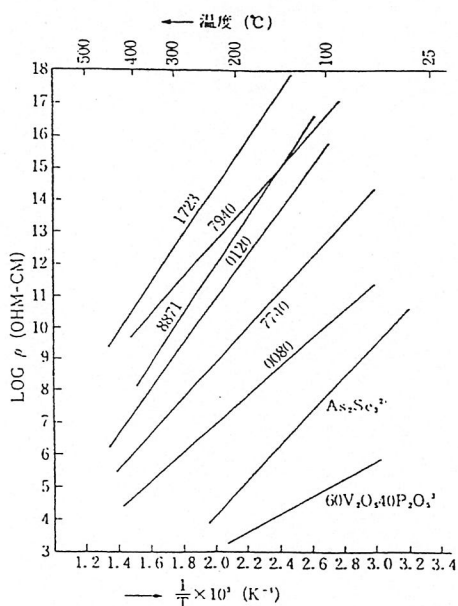


図10-2 種々の実用ガラスの比抵抗の温度依存性^{1), 2), 3)} 1723: アルミノけい酸塩ガラス, 7940: 石英ガラス, 8871: 高鉛ガラス, 0120: 鉛ガラス, 7740: パイレックスガラス, 0080: ソーダ石灰ガラス

図4.3.13 実用ガラスの比抵抗の温度依存性

F. V. Tooley; "The Handbook of Glass Manufacture", 2, Books For Industry, 897(1974)

N. F. Mott and E. A. Davis; "Electronic Processes in Non Crystalline Materials", Clarendon Press(1971)

S. G. Linsley, A. E. Owen and F. M. Hayatee; J. Non-Cryst. Solids. 4, 208(1970)

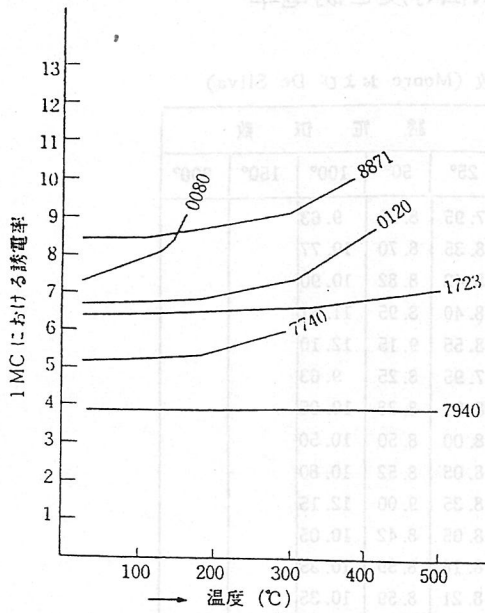


図10-6 実用ガラスの誘電率の温度依存性¹⁾

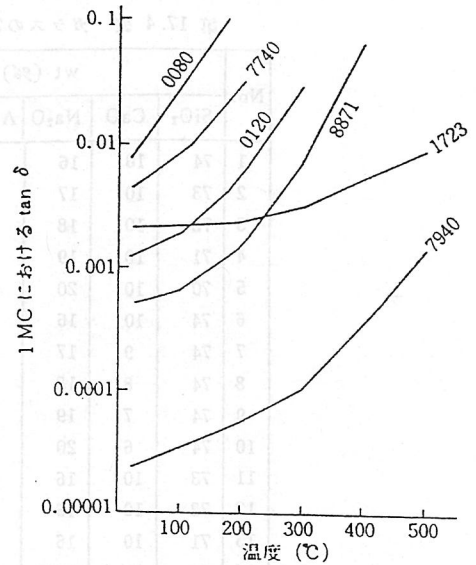


図 10-7 実用ガラスの $\tan \delta$ の温度依存性¹⁾

図4.3.14 実用ガラスの比誘電率の温度依存性

図4.3.15 実用ガラスの損失係数の温度依存性

F. V. Tooley; "The Handbook of GlassManufacture", 2, Books For Industry, 897(1974)

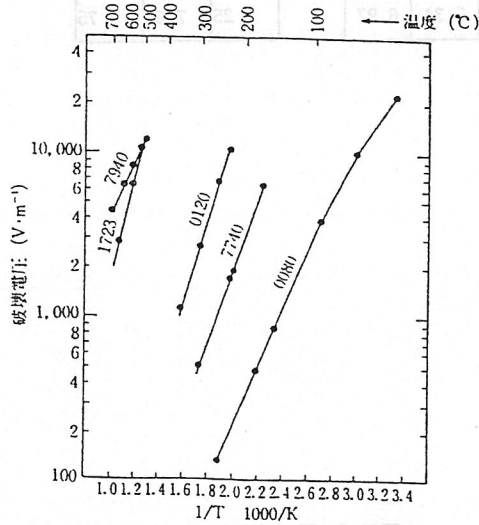


図 10-8 実用ガラスの破壊電圧の温度依存性¹⁾

図4.3.16 実用ガラスの破壊電圧の温度依存性

F. V. Tooley; "The Handbook of GlassManufacture", 2, Books For Industry, 897(1974)

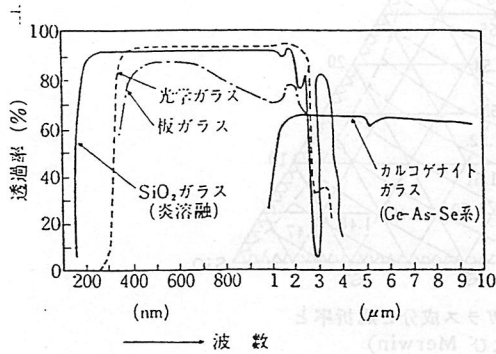
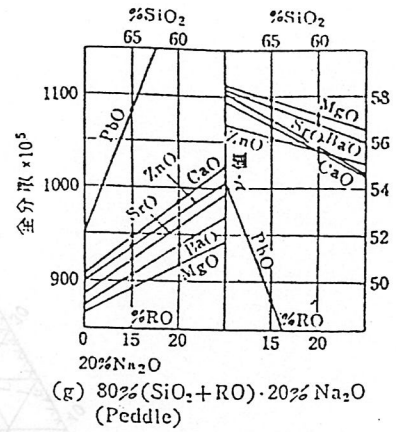


図 11-2 いくつかのガラス製品の透過率

図4.3.17 実用ガラスの透過率

山根正之 ; NEW GLASS TECHNOLOGY “ガラスの基礎講座(11. ガラスの性質)” 5[3](1985)



第 16.2 図
屈折率と成分との関係

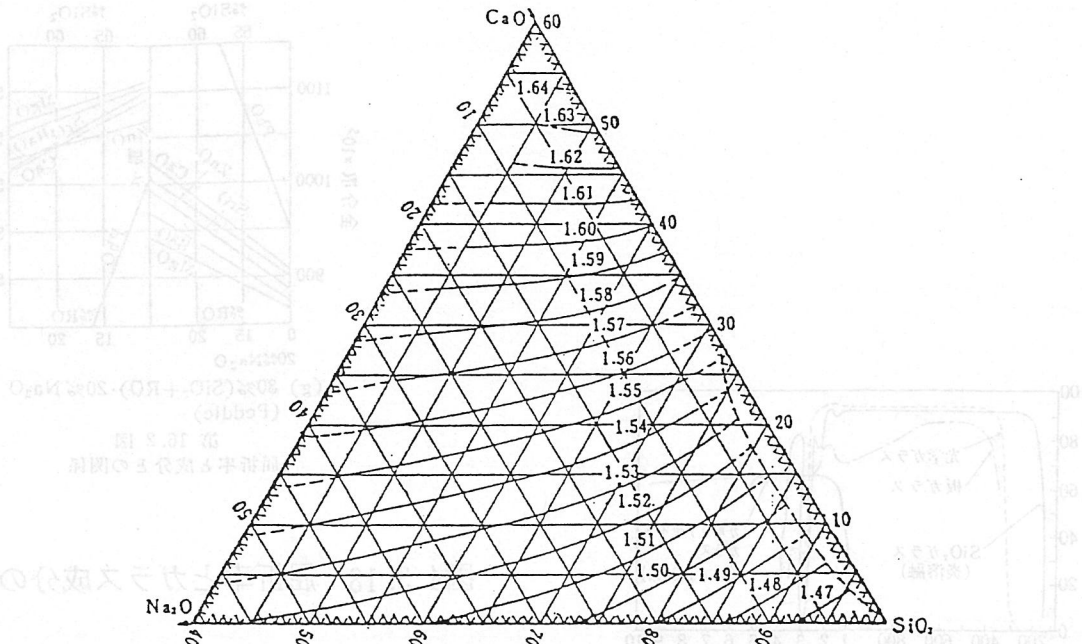
図4.3.18 屈折率とガラス成分の関係

表4.3.22 ガラス成分と屈折率および分散との関係

第 16.4 表 ガラス成分と屈折率および分散との関係 (Peddle)

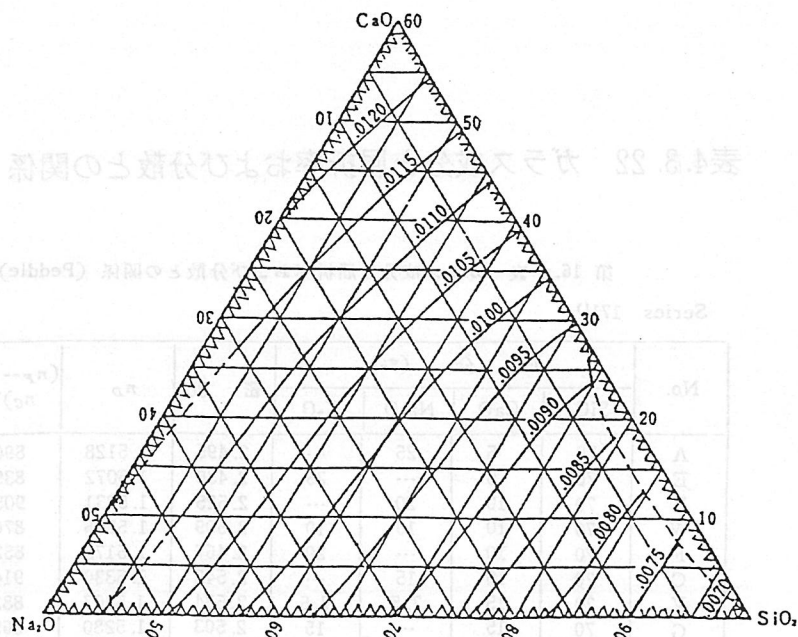
Series 171¹⁾

No.	成 分 (%)				密 度	n_D	$(n_F - n_C) \cdot 10^5$	$(n_D - n_C) \cdot 10^5$
	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O				
A	70	5	25	...	2.495	1.5128	896	258
E	70	5	...	25	2.430	1.5072	839	261
B	70	10	20	...	2.525	1.5231	905	269
W	70	10	10	10	2.509	1.5206	876	260
F	70	10	...	20	2.467	1.5175	852	253
C	70	15	15	...	2.542	1.5330	914	271
V	70	15	7.5	7.5	2.534	1.5307	882	261
G	70	15	...	15	2.503	1.5280	865	256
D	70	20	10	...	2.572	1.5423	923	272
T	70	20	5	5	2.563	1.5406	888	262
H	70	20	...	10	2.542	1.5385	878	259
K	65	15	20	...	2.588	1.5367	948	281
Z	65	15	10	10	2.569	1.5349	918	272
P	65	15	...	20	2.524	1.5296	900	266
M	65	20	15	...	2.516	1.5473	957	282
R	65	20	...	15	2.564	1.5410	913	269
N	60	15	25	...	2.605	1.5402	982	289
S	60	15	...	25	2.544	1.5320	935	275
L	60	20	20	...	2.637	1.5508	990	290
Y	60	20	10	10	2.616	1.5485	962	282
Q	60	20	...	20	2.584	1.5432	948	279



第 16.3 図 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系ガラス成分と屈折率との関係 (Morey および Merwin)

図4. 3. 19 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系ガラス成分と屈折率との関係



第 16.4 図 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系ガラスの成分と分散との関係 (Morey および Merwin)

図4. 3. 20 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系ガラス成分と分散との関係

表4.3.23 Na₂O-CaO-SiO₂系ガラスの光学的性質

第 16.5 表 ガラス成分と光学的性質 (Turner および共同研究者)
Na₂O-CaO-SiO₂ 系¹⁾

No.	n _c	n _d	n _F	n _{G'}	v
1	1.4949	1.4977	1.5066	1.5120	42.6
2	1.4982	1.5007	1.5068	1.5123	58.6
3	1.4996	1.5027	1.5083	1.5147	58.6
4	1.5016	1.5041	1.5102	1.5167	58.7
5	1.5038	1.5063	1.5124	1.5178	58.8
6	1.5060	1.5085	1.5146	1.5189	58.9
7	1.5084	1.5108	1.5171	1.5217	58.8
8	1.5101	1.5127	1.5188	1.5241	58.9
9	1.5128	1.5154	1.5215	1.5267	59.0
10	1.5142	1.5168	1.5229	1.5289	59.5
11	1.5164	1.5188	1.5250	1.5317	59.7

表4.3.24 各種着色剤による色

第 16.19 表 各種着色剤による色¹⁾

着 色 剤	カリ石灰ガラス	ソーダ石灰ガラス	鉛 ガ ラ ス
金○	ルビー紅(O, N)	ルビー紅(O, N)	ルビー紅(O, N)
銀○	橙黄(O, R)	黄褐(O, R)	黄褐(O, R)
銅○	暗赤(R)	暗赤(R)	—
硫化カドミウム○	黄(R)	黄(R)	—
硫セレン-カドミウム	橙一赤(R)	橙一赤(R)	—
硫化アンチモン	赤(R)	赤(R)	—
鉄× Fe ²⁺	緑青(R)	青緑(R)	緑黄(R)
Fe ³⁺	黄緑(O)	緑黄(O)	黄緑(O)
硫化セレン-カドミウム○	黒(R)	黒(R)	—
マンガン×	紫紅(O)	赤紫(O)	紫(O)
"	紫(R)	紫(R)	赤紫(R)
ニッケル×	紫紅(O)	紫(O)	紫(O)
"	紫褐(R)	赤褐紫(R)	紫(R)
コバルト×	紫青(O, R)	紫青(O, R)	青(O, R)
クローム×	黄緑(O)	緑(O)	黄緑(O)
"	緑(R)	暗緑(R)	緑(R)
ウラン×	黄(O)緑色蛍光	黄(O)緑色蛍光	黄(O)緑色蛍光
"	紫灰(R)蛍光発しない	灰(R)蛍光発しない	暗紫(R)蛍光発しない
バナジウム×	黄緑(O)	淡黄緑(O)	緑黄(O)
"	緑(R)	緑(R)	緑(R)
銅×	緑青(O)	青(O)	青緑(O)
炭素○	黄褐(R)	黄褐(R)	—
硫黄○	黄(R)	黄褐(R)	—
セレン○	淡紅(R)	淡紅(R)	淡紅(R)

表4.3.25 ガラス成分と性質との関係

第 7.4 表 ガラスの成分と性質との関係
(Bureau of Standards, Washington, D. C.)

No.	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	密度 (20°C)	<i>n_D</i>	徐冷 温度 (°C)	膨張 係数 (25~ 400°)	臨界 温度 (°C)	膨張係 数(25° ~臨界 温度)	軟化 温度 (°C)	膨張係 数(25° ~軟化 温度)
31	76.60		23.40	2.4140		510	44	480	56	510	63
32	76.65		23.35	2.4133		510	44	485	58	510	65
33	76.70		23.30	2.4126		550					
34	77.85		22.15	2.4007	1.4925	575	41	486	53	525	63
35	78.61		21.39	2.3935	1.4912	575	40	490	53	520	60
36	79.73		20.27	2.3813	1.4898	575	38	489	50	530	57
37	80.04		19.96				38	492	50	525	55
38	82.72		17.28				34	495	45	540	53
39	72.76		17.24	2.3545		550	34	500	45	550	52
40	82.86		17.14	2.3536	1.4851	600					
41	85.15		14.85	2.3307		540					
42	86.41		13.59	2.3204	1.4790	600					
43	50.18	12.02	37.80	2.6413		460					
44	50.30	6.66	43.04	2.6076		450					
45	52.20	19.83	27.97				59	498	80	535	90
46	54.37	12.78	32.85	2.6236	1.5391	530	62	477	79	505	83
47	56.20	9.80	34.00	2.2976	1.5320	480	67	470	84	495	90
48	56.34	19.75	23.91				51	517	73	550	80
49	56.76	5.76	34.48	2.5719	1.5238	470	67	444	77	480	87
50	58.41	3.05	38.54	2.5474	1.5170	480	68	437	77	473	88
51	60.05	20.16	19.79				49	548	74	580	81
52	60.32	15.18	24.50	2.6074		530	52	520	74	547	79
53	62.93	19.68	17.39				43	568	69	595	77
54	63.34	12.27	24.39	2.5757	1.5320	525	52	518	74	550	81
55	64.14	14.64	21.22	2.5851	1.5360	565	47	530	69	570	76
56	64.70	8.46	26.84	2.5460	1.5232	525	52	493	71 [†]	530	81
57	65.71	5.50	28.79	2.5229	1.5167	520	53	493	72	515	79
58	66.05	16.03	17.92				44	563	69	595	78
59	66.12	19.91	13.97				40	587	67	625	77
60	66.47	11.79	21.74	2.5564	1.5288	565	48	522	72	560	84
61	67.23	21.15	11.62				37	601	64	645	75
62	67.30	3.27	29.43	2.4998	1.5110	520	53	480	69	515	78
63	67.98	9.52	22.50	2.5331	1.5230	565	47	518	68	560	82
64	70.12	14.85	15.03				39	567	63	610	73
65	70.50	6.50	23.00	2.4980	1.5145	530	45	506	62	545	73
66	71.70	16.20	12.10				35	598	60	630	65
67	72.08	13.71	14.21	2.5276	1.5265	580	36	571	59	615	68
68	72.61	3.15	24.24	2.4641	1.5060	525	46	490	61	530	72
69	74.09	10.68	15.23	2.4935	1.5182	545	36	555	57	600	68
70	74.69	13.03	12.28	2.4961	1.5211	590	33	589	57	627	66
71	75.48	9.26	15.26	2.4734	1.5135	590	36	553	54	600	65
72	78.56	2.99	18.45				38	504	52	545	60
73	78.77	4.90	16.33	2.4190	1.5003	545	31	523	51	565	61
74	80.59	3.24	16.17	2.3836	1.4935	565	32	505	43	560	55

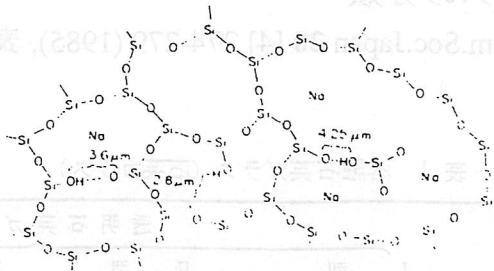


図 7-6 ガラス中に含まれている種々の OH 基 (Scholze⁹⁾ による) 尚, 図中の数字は赤外域での吸収波長を示す。

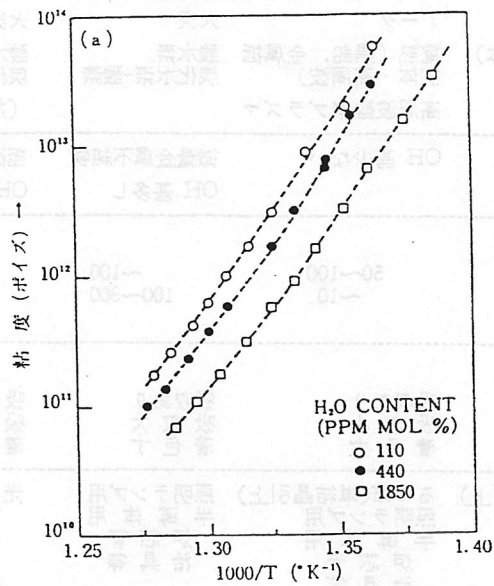


図 7-7 Na₂O-SiO₂ 系ガラスの粘度におよぼす水分の影響 (Shelby と McVay¹⁰⁾ による)

図4.3.21 Na₂O-SiO₂系ガラスの粘度に及ぼす水分の影響

- a) W.C. Hansen Quarzwerke G.m.b.H.
- b) West Deutsche Quarz Schmelze G.m.b.H. (GE 系)
- c) Thermal Quarz Schmelze G.m.b.H. (Thermal 系)
- d) Philips Glasfabrikantenverband
- e) Thermal Systems Ltd.
- f) General Electric Company
- g) Corning Glass Works
- h) Corning Glass Works Co.
- i) Pyrex Corporation of America
- j) American Inc. (Chemur 系)
- k) Thermal American Food Glass Inc. (Thermal 系)
- l) 東芝ガラス工業 (株)
- m) 日本ガラス工業 (株)
- n) 全門ガラス工業 (株)
- o) 信越化学工業 (株)
- p) 信越化学工業 (株)
- q) 信越化学工業 (株)
- r) 信越化学工業 (株)
- s) 信越化学工業 (株)
- t) 信越化学工業 (株)
- u) 信越化学工業 (株)
- v) 信越化学工業 (株)
- w) 信越化学工業 (株)
- x) 信越化学工業 (株)
- y) 信越化学工業 (株)
- z) 信越化学工業 (株)

表4.4.1 石英ガラスの分類

A.Hayashi; Bull.Ceram.Soc.Japan 20 [4] 274-279 (1985), 表1

表 1 熔融石英ガラス (石英ガラス)

不透明石英ガラス		透明石英ガラス			
		I 型	II 型	III 型	IV 型
原料	ケイ石 ケイ砂	水晶砂 水晶(天然, 人工)	水晶砂 水晶(天然, 人工)	四塩化ケイ素 人工ケイ素化合物	四塩化ケイ素 人工ケイ素化合物
熔融方法	アーク 電熱(黒鉛抵抗体)	アーク 電熱(黒鉛, 金属抵抗体・高周波) 高周波酸素プラズマ	火炎 酸水素 炭化水素-酸素	火炎 酸水素 炭化水素-酸素 (加水分解)	火炎 高周波酸素プラズマ (酸化分解)
特長	不透明 半透明	OH 基少ない	微量金属不純物 OH 基多し	極微量金属不純物 OH 基極めて多し	極微量金属不純物 OH 基極めて少ない
不純物 (ppm)					
	{ 金属イオン H ₂ O Cl	200~	50~100 ~10	~100 100~300	<1 900~1300 100~ 200
光学的特性	{ 紫外光 2.7 μm 放射線	吸収あり 吸収小 着色大	吸収あり 吸収大 着色す	吸収小 吸収大 着色小	吸収小 吸収小 着色小
主用途	るつぼ(単結晶引上) 煉瓦 フィルター 容器 熱電対保護管 赤外線ヒーター管	るつぼ(単結晶引上) 照明ランプ用 半導体用 炉芯管 治具等 光ファイバー用 管・棒	照明ランプ用 半導体用 炉芯管 治具等 光ファイバー用 管・棒	光学用 プリズム レンズ セル 板, 等 IC マスク基板 光ファイバー用 管・棒	光学用 光ファイバー用 管・棒
商品名(メーカー)		Infrasil ^{a)} IR-Vitreosil ^{b)} GE 105, 201, 204 ^{c)}	Herasil ^{a)} Homosil ^{a)} Optosil ^{a)} Vitreosil ^{a)} OH-Vitreosil ^{b)} GE 104 ^{c)} Pursil ^{d)} 2000 番台コード ^{e)} HR ^{b)}	Suprasil ^{a)} Spectrosil ^{b)} Tetrasil ^{d)} Corning 7940 ^{e)} Dynasil ^{f)} 1000番台コード ^{e)} 1N, 3N, OX, OY ^{b)}	Suprasil W ^{a)} Spectrosil WF ^{b)} Tetrasil SE ^{d)} Corning 7943 ^{e)} 4000 番台コード ^{e)} ES ^{b)}

- メーカー: a) W.C. Heraeus Quarzschmelz Werke G.m.b.H. (西ドイツ)
 West Deutsche Quarz Schmelz G.m.b.H. (GE 系?) (西ドイツ)
 Thermal Quartz Schmelz G.m.b.H. (Thermal 系) (西ドイツ)
 Philips Gloeilampenfabriken (ランプ管) (オランダ)
 b) Thermal Syngicate Ltd. (イギリス)
 c) General Electric Company (アメリカ)
 d) Quartz et Silice (フランス)
 e) Corning Glass Works Co. (アメリカ)
 f) Dynasil Corporation of America (アメリカ)
 Amersil Inc. (Heraeus 系) (アメリカ)
 Thermal American Fused Quartz Inc. (Thermal) (アメリカ)
 g) 東芝セラミックス(株) (日本)
 h) 日本石英硝子(株) (日本)
 金門製作所(株) (日本)
 信越石英(株) (住越化学/Heraeus 合併) (日本)
 高純度石英(株) (三菱金属/Thermal 合併) (日本)
 松下電子工業(株) (ランプ管) (日本)

A. Hayashi; Bull. Ceram. Soc. Japan 20 [4] 274-279 (1985)

表4.4.2 シリカの多形

A. Nukui; Bull. Ceram. Soc. Japan 20 [4] 266-273 (1985), 表2

表 2 新しく整理したシリカ各相の結晶学データ

シリカ相	多	像	晶系	空間群	格子定数				比重 (g/cm ³)	文献	
					a(Å)	b(Å)	c(Å)	β(度)			
石英	低	温	型	三方晶	C _{3,2} /C _{3,2}	4.916		5.4054	2.65	1	
	中	間	型	不整合構造						25	
	高	温	型	六方晶	C _{6,2} /C _{6,2}	5.01		5.47		2	
クリストバライト	低	温	型	正方晶	P _{4,2} /P _{4,2}	4.978		6.948		3	
	高	温	型	立方晶	Fd _{3m}	7.157 ^{*1}			2.33	4	
トリ デ イ マ イ ト	高温出現型	MC 型 ^{**}		単斜晶	C _c	18.494	4.991	25.832	117.75	2.33	5
		PO 型	PO-10	三斜晶	(F1)	17.216	9.932	18.864	α=β=γ 90		6
			PO-5	斜方晶	C _{22,1}	17.21	9.93	40.9		7	
			PO-2	斜方晶	C _{22,1}	17.1	9.9	16.3		8	
		MX 型		不整合構造			5.0079 ^{**}	8.6004	8.2169	91.52	9
	高温	PO-1	斜方晶		17.3	10.0	8.1	8.1		7	
		OP	斜方晶	P _{2,2,2}	26.171	4.986	8.196		10		
		OS(OS')	不整合構造			95-65 (75-55)	5.02	8.18		11	
		OC	斜方晶	C _{22,1}	8.74	5.04	8.24		12		
		HP	六方晶	P _{6,1/mmc}	5.052		8.27		2.27	13	
コ ー サ イ ト	高	圧	型	単斜晶	C _{2/c}	7.1356	12.3692	7.1736	120.34	2.92	14
ス テ ィ シ ョ バ イ ト	高	圧	型	正方晶	(P _{4/mmm})	4.179		2.665		4.3	15
キ ー タ イ ト	高	水蒸気	圧下	正方晶	P _{4,2} /P _{4,3}	7.64		8.61		2.50	16
シ リ カ W	気体状 SiO ₂ 冷 却凝縮	斜方晶	I _{cma}	4.72	5.16	8.36		1.96-1.98	17		
シ リ カ ガ ラ ス	溶融	冷却	Si-O: 1.62 Å, O-O: 2.65 Å, Si-Si: 3.12 Å, Si-O-Si 角: 144±10°					2.21	18		
高 圧 下 ガ ラ ス ^{**}	高	圧	型						19		

*1 1000°C でのデータ

*2 主反射の格子定数

*3 記号は晶系と空間群の組み合わせである。MC 型は Monoclinic (単斜晶系) c lattice (格子)。PO 型 (Pseudoorth.) はそれに加え積層周期が考慮されている。

*4 幾つかの異なる高密度ガラスが見出されている (本文 4.4 節参照)

A. Nukui ; Bull. Ceram. Soc. Japan 20 [4] 266-273 (1985)

表4.4.3 石英ガラスの機械的性質

特性	特性値	測定条件	出典	備考
密度	2.2×10^3 Kg/cm ³	室温	A	仮想温度、Typeにより 2.200~2.206程度変化する
ヤング率	72 GPa 76 79	室温 500℃ 900℃	B	高温ほど高い（異常弾性）
剛性率	31 GPa	室温	B	高温ほど高い（異常弾性）
ポアソン比	0.17	室温	B	
音速 縦波 横波	5900 m/s 3750 m/s	室温, Type I(GE204)	E	
硬度 (マイクロピッカース)	800~ 1000 kg/mm ²	20℃	F	モース硬度 5.5-6.5(C) ヌープ硬度 590-620(D)
光弾性定数	3.25×10^{-12} Pa ⁻¹	at 546nm	D	
破壊じん性	0.789 MPam ^{1/2}	20℃	C	800℃以上で急上昇する
実用引張強度	48 MPa 110 113 163 128	5φ, 室温 0.7φ, 室温 0.7φ, 500℃ 0.7φ, 900℃ 0.7φ, 1100℃	G	サイズ効果があり、大きいもの のほうが単位面積あたりの強度 が低い

A) R.Brückner; J. Non-Cryst. Solids 5 123-175, 177-216 (1970)

B) S.Spinner; J. Am. Ceram. Soc. 39 [3] 113-118 (1956)

C) N.Sinkai et al.; J. Am. Ceram. Soc. 64 [7] 426-430 (1981)

D) N.K.Sinha; Phys. Chem. Glasses 19 [4] 69-77 (1978)

E) General Electric Catalog 7700J (1989)

F) 信越石英.; カタログ QA-1 p.32 (1989)

G) 東芝セラミックス株式会社 石英ガラスカタログ

表4.4.4 石英ガラスの熱的性質

特性	単位	特性値						出典
熱膨張率	$\alpha \times 10^7$	0°Cとの 温度差(K) 300 500 700 900 1065						A
		Type I 5.56 5.46 4.87 4.44 4.62						
		Type II 5.66 5.74 5.03 4.62 4.60						
熱伝導率	W/mK	T(K) 300 500 700 900 1100 1300						B1
		1.38 1.62 1.92 2.48 3.36 4.82						
熱拡散率	cm^2/s	T(K) 336 507 703 910 1039						B2
		$\times 10^{-3}$ 6.85 6.41 7.52 9.26 10.8						
比熱	J/KgK	T(K) 298 500 700 900 1100 1300						B3
		738 987 1077 1132 1176 1213						

- A) J.Oishi and T.Kimura; Metrologia 5 [2] 50-55 (1969)
 B1) Y.S.Touloukian et.al. Directed; "Thermophysical Properties of Matter" IFI/Plenum;
 Thermal Conductivity Vol.2 p183-193 (1970)
 B2) Thermal Diffusivity Vol.10 p399-401 (1973)
 B3) Specific Heat Vol.5 p202-206 (1970)

表4.4.5 石英ガラス中の拡散係数

R.Brückner; J. Non-Cryst. Solids 5 177-216 (1971), Table 3

TABLE 3
Survey of diffusion measurements (see fig. 36)

Diffusing particle	D_0 (cm ² /sec)	Q (kcal/mole)	Temperature (°C)	References	Diameter of diffusing molecule or ion (Å)
Helium	7.4×10^{-4}	6.61	24-300	150	2.0
Helium	3.0×10^{-4}	5.58	300-1034	150	2.0
Neon ²⁰ Ne	2.21×10^{-4}	11.37	440-980	151	2.4
Neon ²² Ne	2.08×10^{-4}	11.34	440-980	151	2.4
Hydrogen	6.5×10^{-4}	11.3	200-1000	152, 154, 155	2.5
Nitrogen	10^{-4}	26	700-1000	152, 153	3.4
Hydrogen producing hydroxyl	9.5×10^{-4}	15.8	600-1000	156	
Hydroxyl in	1.0×10^{-6}	18.3	700-1200	157-159	1.32
Hydroxyl out	2.7×10^{-6}	17.3	700-1200	157-159	1.32
Oxygen	1.51×10^{-2}	71.2	925-1225	162	1.32
	4.3×10^{-6}	56.0	900-1200	163	1.32
Oxygen	2.0×10^{-9}	29	850-1250	164-166	1.32
Oxidation in type I + III	9.5×10^{-4}	15.8	600-1000	156, 167	
Oxidation in type I	2.7×10^{-4}	27.0	800-1050	167	
Sodium ion type I	2.13	18.3	170-250	170	0.98
	0.398	25.8	250-570	170	0.98
	3.44×10^{-3}	21.1	570-1000	170	0.98
Sodium ion type III	5.94×10^{-3}	35.2	740-1200	168	0.98

R. Brückner; J. Non-Cryst. Solids, 5 177-216 (1971)

表4.4.6 石英ガラス中の OH、ガス含有量
 伴一成; 照明学会誌 69 [1] 8-10 (1985), 表2

表 2 石英ガラスの OH 基含有量およびガス含有量

石英ガラスの種類	OH 基の含有量 (ppm)	ガス含有量	
		1,000°Cでのガス放出量 (ml/100 g)	水素ガスの割合 (Vol, %)
[合成石英ガラス] ・火炎溶融	800~1,200	1.0~2.0	60
[透明石英ガラス] ・火炎溶融 (ベルヌイ法)	150~250	1.0~2.0	75
・真空溶融法	2以下	0.1~0.2	0
・連続製管法 (熱処理品)	20~40	0.5~1.0	65
(真空熱処理品)	2~6	0.1~0.5	60
[不透明石英ガラス] ・アーク溶融法	—	0.5~2.0	75
・連続製管法 (熱処理品)	—	0.5~2.0	65
(未処理品)	—	10~20	95
・抵抗溶融法	—	0.5~2.0	75

伴一成; 照明学会誌 69 [1] 8-10 (1985)

表4.4.7 石英ガラスからのガス放出

Y. Morimoto et al.; J. Non-Cryst. Solids 139 35-46 (1992), Table 2

Table 2
Amount of gas released from various types of vitreous silicas

Sample	Type	Amount of released gases (molecules m^{-2}) a),b)			
		H ₂	H ₂ O	CO	O ₂
T2030	I	3.1E18 ^{c)}	4.0E18 ^{c)}	4.4E17 ^{c)}	- ^{d)}
T7030	I	2.0E21	1.2E19	5.7E17	-
Vitreosil	I	2.4E20	1.8E19	3.0E18	-
GE214	I	7.0E17	1.3E18	6.0E17	-
SG25A	I	5.0E18	6.5E17	1.8E16	-
SG25SC	I	4.9E20	5.0E19	-	-
SG25SF	I	1.1E20	2.0E18	2.6E18	-
T7032	I	1.8E20	3.2E19	2.8E18	-
T1030	II	2.0E20	9.6E18	7.3E17	-
Heralux	II	5.2E20	2.8E19	3.4E18	-
Suprasil II	III	1.3E19	6.2E20	3.5E18	-
Suprasil W	IV	-	-	6.6E18	4.0E19

a) The amount of releasing gas is represented in the unit of molecules m^{-2} . The specimen's inner surface heated effectively is $7.54 \times 10^{-3} m^2$ except for Suprasil W, the surface area of which is $2.4 \times 10^{-3} m^2$.

b) The values have errors of $\pm 10\%$ for H₂O and within $\pm 5\%$ for other gases.

c) Only this sample with 2 mm thickness was heated to 1100 °C, and the value for T2030 was calculated for a temperature range to 1100 °C at which temperature the sample was held for 2 h.

d) The mark, '-', represents below the detection limit.

表4.4.8 石英ガラス中のカラーセンター

長沢可也; "シリカガラスデータブック" p59-62 (1990), 表1

表1 純粋石英ガラス中のカラーセンター	
吸収帯	原因および特徴
163nm	as-grown試料に生成。→Si-Si←が原因[2-6]。 パーオキシ・ラジカル(P.R.)もこの波長に吸収を生ずるとの報告もある[7]。
215nm	E'中心(→Si·)が原因[8]。
225nm	結晶SiO ₂ に見られるE2'中心が原因との報告がある[9]。しかし、ガラス中においてこの吸収帯のはっきりとした分離は望しい。
245nm	ピーク波長、半値幅及び発光波長の異なる2種の吸収帯(B2α、B2β)がある。何れも、as-grown試料に生成。B2αは→Si-Si←が原因、B2βは原因不明[2-6]。
260nm	γ線やエキシマレーザー光の照射で生成。NBOHCが原因との説もあるが[10]、原因不明[11,12]。
325nm	as-grown試料に生成。パーオキシ・リンケージ(→Si-O-O-Si←)が原因[13]。
600~630nm	NBOHC(→Si-O·)が原因[14-16]。NBOHCが近くのOH基と→Si-O·...H-O-Si←のように水素結合を形成する場合、ピークの波長が600nm付近になる。これは、OH基高含有試料(800ppm以上)によく見られる。一方、水素結合を持たないNBOHCは、630nm付近にピークを形成する[16]。
660nm	γ線照射である種の試料に生成[17]。
760nm	シリコン・クラッドが原因[18]。欠陥の詳細な構造は不明。Radiation Hardening効果[17]や、光ブリーチ[19]をよく受ける。
945、1240、1390nm	OH基の分子振動吸収(→Si-O-H)。近くのOH基同志で水素結合を形成し、吸収のピーク波長の化学シフトを生ずる[20-22]。
1240nm 他	ガラス中に拡散している水素分子(H-H)の分子振動吸収が原因[23]。
1440nm	P.R.と水素分子により生成、90℃程度の熱処理で消滅[24]。原因は不明。
1450nm	P.R.の生成している試料に水素分子を拡散し、150℃程度で加熱すると生成。 →Si-O-O-Hが原因[24]。
1520nm 及び 1240nm を中心に1000~1800nmにわたる広い吸収帯	P.R.と水素分子が水素結合を形成した構造(→Si-O-O·...H-H)による吸収[24,25]。90℃の加熱で、容易に減少または消滅する。
1600nm より長波長にピークを持つ吸収帯	γ線照射で生成。通信用波長の1.3μm帯、1.55μm帯におけるγ線誘起損失の主要原因となっている。ピーク波長は不明[26]。

(社)ニューガラスフォーラム 編 「シリカガラスデータブック」 P.60 (1990)

表4.4.9 石英ガラス中のイオンの易動度

Ion	Ion Radius [nm]	μ_0 [cm ² /Vs]	Activation Energy [eV]	D_0 [cm ² /s]	Activation Energy [eV]
Li	0.068	4.5×10^{-4}	0.47		
Na	0.098	3.5×10^{-4}	0.44		
K	0.133	2.5×10^{-3}	1.04	8×10^{-4}	1.31
Rb	0.148			4.5×10^{-5}	2.07
Cs	0.167			1.7×10^{-4}	2.20

表.4.4.10 代表的石英ガラスの不純物 (カタログ値)

Type	品 種	不純物 (wt.ppm.)						備 考
		Al	Fe	Na	K+Li	OH	Cl	
不透明	T-100 ^{A)}	100	25	15	15+	-	-	
	Rotosil ^{B)}	200-500	-80	30	n.d.	-	-	
	GE-318 ^{C)}	170	58	17	33	280	-	
I	T-2030 ^{A)}	8	0.8	1	+1	1	-	真空中の熔融
	T-7030 ^{A)}	18	1	3	+2	13	-	脱水品GT-7032(OH:5ppm)
	Heralux-E ^{B)}	25	-	0.2	1.0	20	-	ツールフリー ^{b)}
	Heralux-E-LA ^{B)}	20	-	0.2	0.2	20	-	Heralux-Eの低アルカリ品
	GE-214 ^{C)}	16	0.	1.0	1.7	5	-	脱水品GE-214A(OH<1ppm)
II	T-1030 ^{A)}	8	0.	0.8	+0.8	20	-	
	Heralux ^{B)}	25	-	1.0	2.0	170	-	ツールフリー ^{b)} 泡が少
	Heralux-LA ^{B)}	20	-	0.2	0.6	170	-	Heraluxの低アルカリ品
III	T-4040 ^{A)}	0.1	0.05	0.05	+0.05	800	?	
	Suprasil ^{B)}	0.1	0.2	0.04	0.05	1200	100	
IV	Suprasil W ^{B)}	0.1	0.2	0.04	0.05	5	?	

- A) 東芝セラミックス株式会社
 B) W.C.Heraeus GmbH (信越石英株式会社)
 C) General Electric Company, U.S.A.

- a) 真空中で熱処理すると容易に水素を放出し<10wt.ppm.になる
 b) 管引の際、ノズルを使用しないため、不純物の付着が少ない
 表面状態良好、寸法精度はノズル使用の物に較べやや劣る

表4.4.11 石英ガラスの反応性

信越石英株式会社;カタログ QA-1 p49 (1989), 表2

表2 石英ガラスと種々の元素およびその化合物との反応性

- 反応しない
 ⊙注記温度以上で反応
 ①溶融状態の物質と反応
 ●反応する

元 素	反応性	注
Ag	○	
Al	⊙	700-800℃で反応大
Au	○	
Br	○	
C	⊙	1500℃以上
Ca	⊙	600℃以上
Cd	○	
Ce	⊙	800℃以上
Cl	○	高温で水分が共存しても反応しない
F	●	水分のある場合
Hg	○	
I	○	
Li	●	250℃以上
Mg	⊙	700-800℃で反応大
Mn	○	
Mo	○	
Na	○	気体状態でのみ反応
P	●	
Pb	○	
Pt	○	
S	⊙	1000℃以上でわずかに反応
Si	①	
Sn	○	
Ti	○	
W	○	
Zn	○	
化 合 物	反応性	注
Al ₂ O ₃	⊙	1200℃以上
BaO	⊙	900℃以上
CaO	⊙	1000℃以上
CuO	⊙	950℃以上
酸化鉄	⊙	950℃以上
MgO	⊙	950℃以上
PbO	①	
ZnO	⊙	800℃以上
塩基性酸化物	⊙	800℃以上で失透を促進

化 合 物	反応性	注
H ₂ O	○	500℃以上、かつ400気圧以上でゆっくり分解する
H ₂ SO ₄	○	
HNO ₃	○	
HCl	○	
HF	●	通常ガラスより反応しにくい
磷酸	●	通常ガラスより反応しにくい
有機酸	○	
化 合 物	反応性	注
HCl	○	
H ₂ , N ₂ , O ₂	○	
NO ₂ , SO ₂	○	
CO	○	
化 合 物	反応性	注
BaCl ₂	①	
BaSO ₄	⊙	700℃以上
硼酸塩	①	
BCl ₃	⊙	900℃以上
KCl	①	失透促進
KF	①	
NaCl	①	
メタリン酸ナトリウム	●	
ポリリン酸ナトリウム	●	
Na ₂ SO ₄	○	
タングステン酸ナトリウム	●	失透促進
硝酸塩	①	
(NH ₄) ₂ PtCl ₄	⊙	900℃以上
ZnCl ₂	①	
リン酸亜鉛	⊙	200℃でわずかに反応、1000℃で激しく反応
ケイ酸亜鉛	⊙	1000℃以上

信越石英 カタログ QA-1

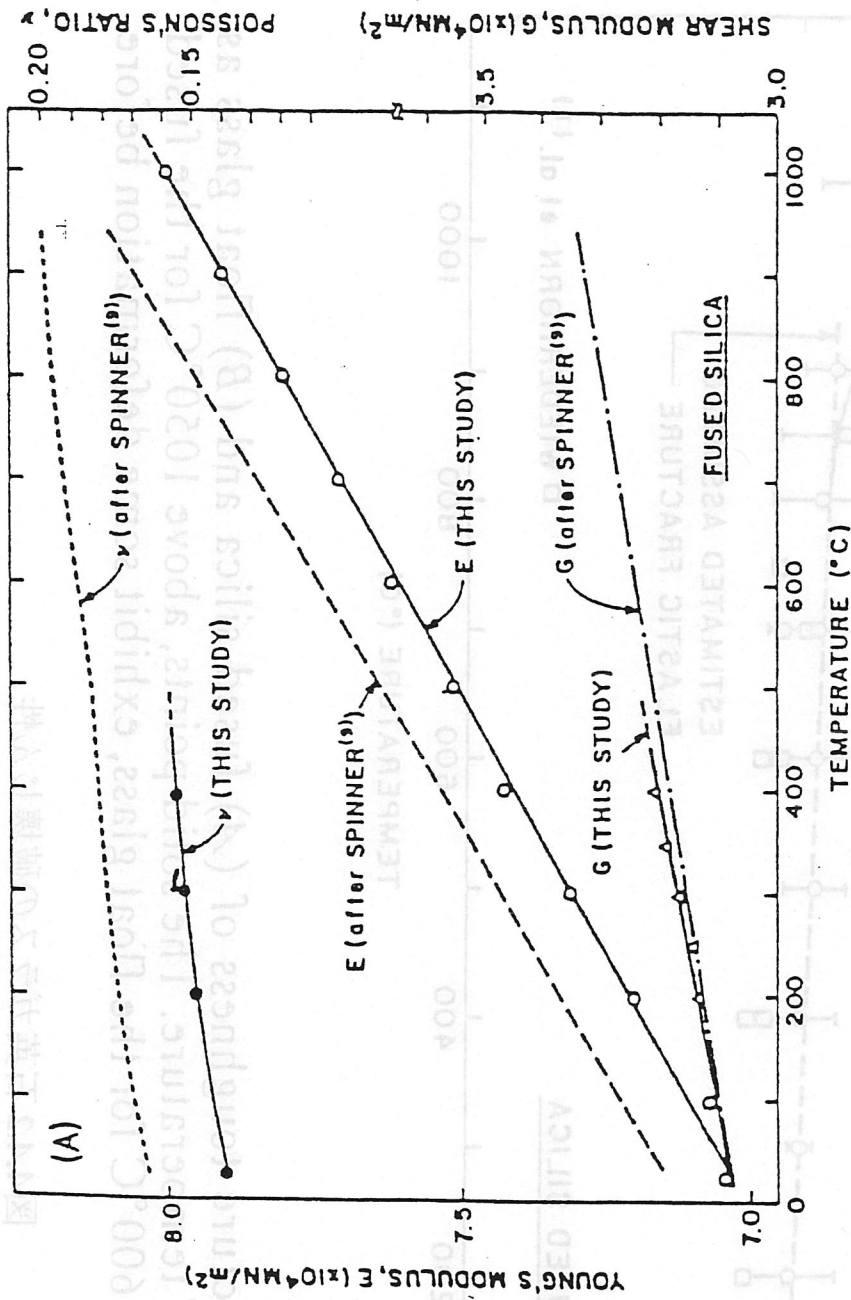


Fig. 1. Elastic moduli of (A) fused silica and (B) float glass as a function of temperature.

図4.4.1 石英ガラスのヤング率、剛性率

N.Sinkai et al.; J. Am. Ceram. Soc. 64 [7] 426-430 (1981), Fig.1

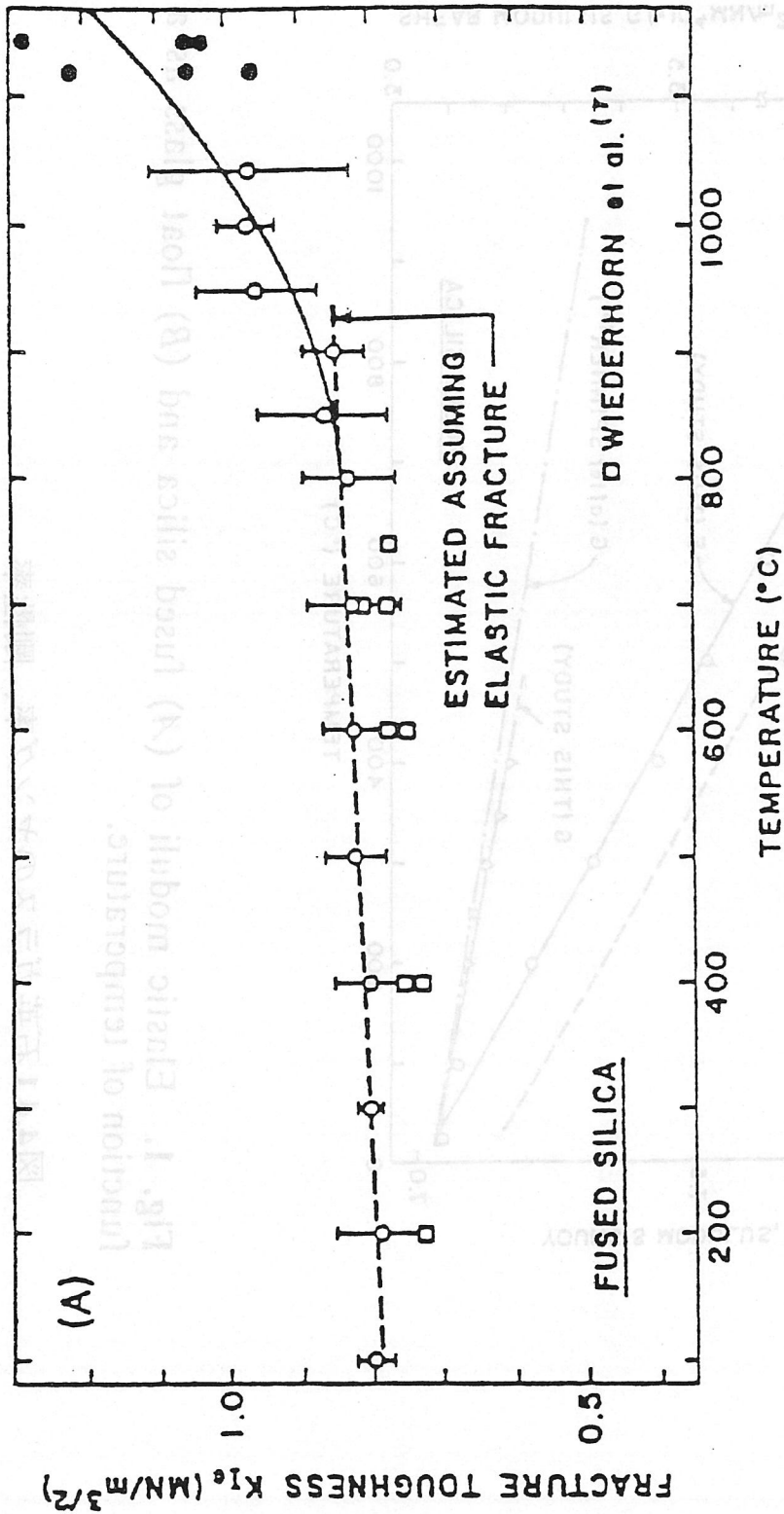


Fig. 2. Fracture toughness of (A) fused silica and (B) float glass as a function of temperature. The solid points, above 1050°C for the fused silica and at 600°C for the float glass, exhibit some deformation before fracture.

図4.4.2 石英ガラスの破壊じん性

N.Sinkai et al.; J. Am. Ceram. Soc. 64 [7] 426-430 (1981), Fig.2

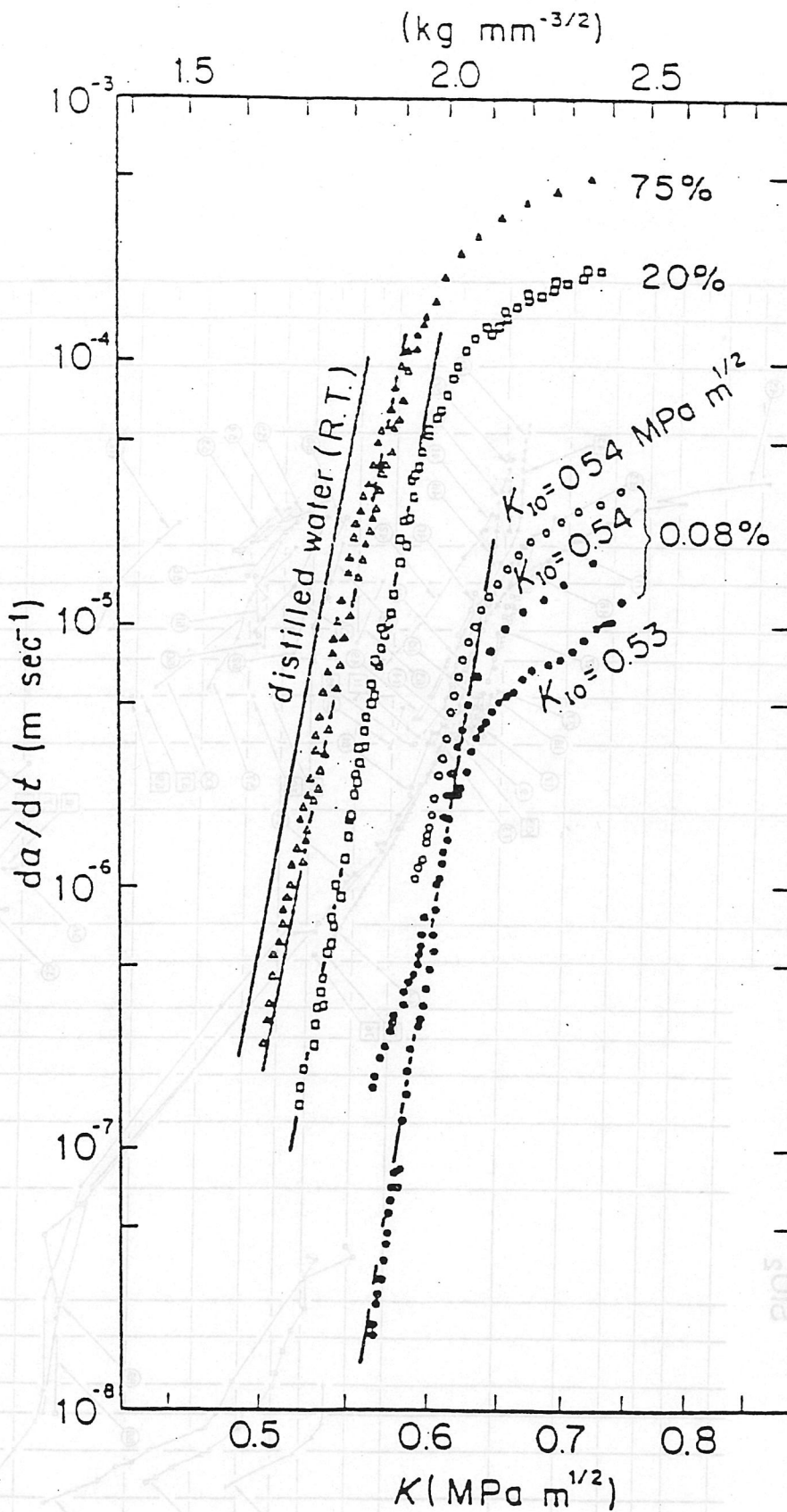


Figure 7 Influence of humidity on crack-growth rate in atmospheric air.

図4.4.3 石英ガラスの水による強度低下

S.Shinkai et al.; J. Matter. Sci. 17 2878-2886 (1982), Fig.7

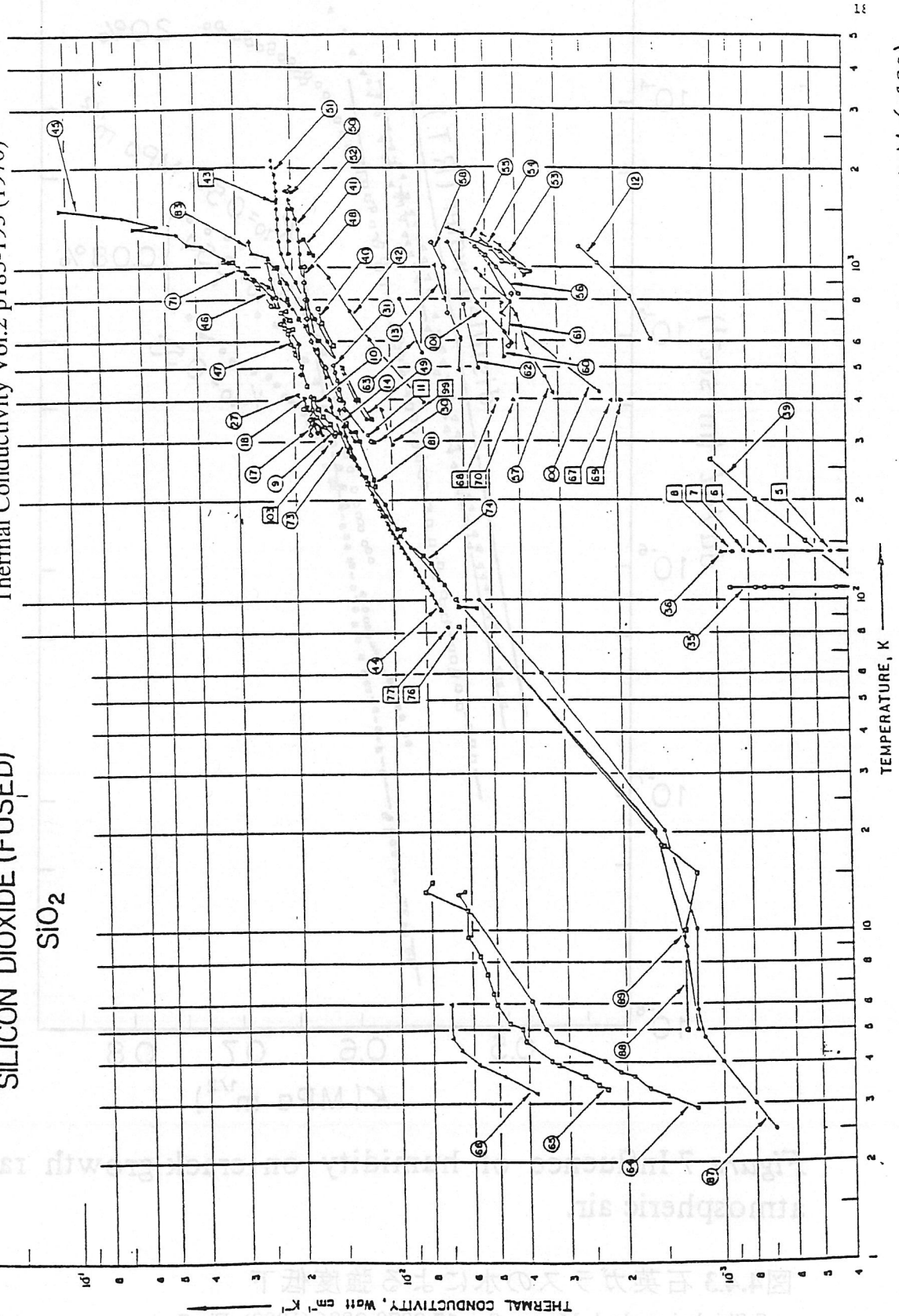
FIGURE SHOWS ONLY 62 OF THE CURVES REPORTED IN TABLE

図4.4.4 石英ガラスの熱伝導率

THERMAL CONDUCTIVITY OF SILICON DIOXIDE (FUSED)



Y.S.Touloukian et.al. Directed; Thermophysical Properties of Matter (IFI/Plenum)
Thermal Conductivity Vol.2 p183-193 (1970)



Edited: Y. S. Touloukian et al; "Thermophysical Properties of Matter" vol 2. P.183 PLENUM (1970)

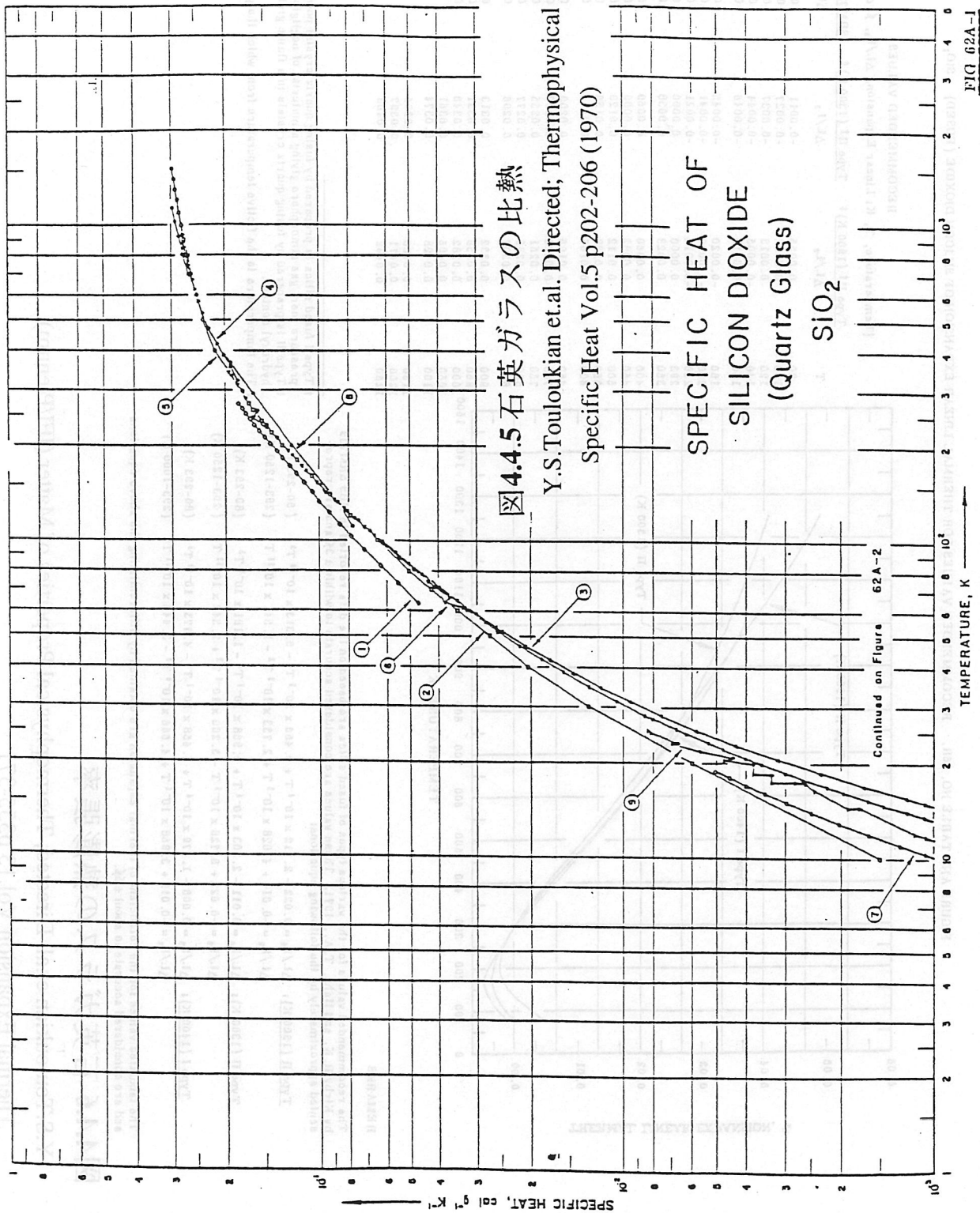


図4.4.5 石英ガラスの比熱

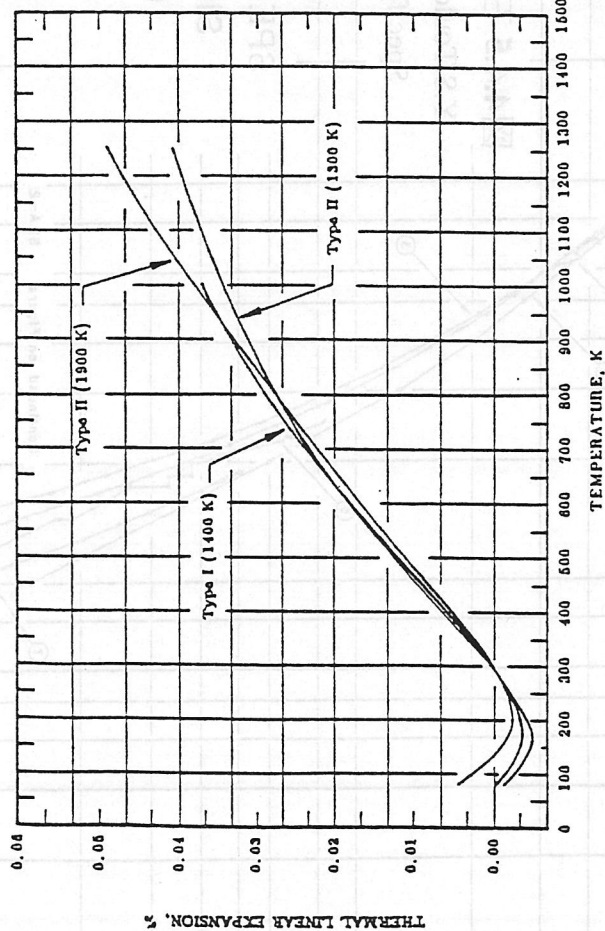
Y.S.Touloukian et.al. Directed; Thermophysical Properties of Matter

Specific Heat Vol.5 p202-206 (1970)

FIG 62A-1

Edited: Y.S. Touloukian et al; "Thermophysical Properties of Matter" vol.5 P.202 PLENUM (1970)

FIGURE AND TABLE NO. 760. RECOMMENDED VALUES FOR THERMAL LINEAR EXPANSION OF SILICON DIOXIDE (FUSED) SiO₂



T	RECOMMENDED VALUES			α
	ΔL/L ₀	ΔL/L ₀	ΔL/L ₀	
80	0.0035	-0.0011	-0.0001	-0.70
100	0.0032	-0.0027	-0.0013	-0.53
120	0.0013	-0.0037	-0.0022	-0.38
140	-0.0005	-0.0044	-0.0028	-0.24
160	-0.0013	-0.0048	-0.0032	-0.10
180	-0.0020	-0.0045	-0.0032	0.02
200	-0.0020	-0.0041	-0.0031	0.13
240	-0.0016	-0.0021	-0.0018	0.35
283	0.0000	0.0000	0.0000	0.49
350	0.0028	0.0038	0.0033	0.57
400	0.0040	0.0069	0.0064	0.61
460	0.0082	0.0099	0.0094	0.63
500	0.0112	0.0129	0.0124	0.63
550	0.0138	0.0156	0.0151	0.61
600	0.0187	0.0184	0.0181	0.59
650	0.0195	0.0209	0.0213	0.56
700	0.0228	0.0233	0.0240	0.53
750	0.0261	0.0255	0.0267	0.50
800	0.0280	0.0277	0.0292	0.47
850	0.0307	0.0296	0.0315	0.44
900	0.0332	0.0313	0.0336	0.41
950	0.0359	0.0331	0.0355	0.40
1000	0.0382	0.0348	0.0371	0.37
1060	0.0405	0.0361		
1100	0.0428	0.0374		
1160	0.0460	0.0385		
1200	0.0471	0.0397		
1260	0.0492	0.0408		

REMARKS

The recommended values for the various types of fused silica are based on the data reported in NBS SRM739 by Kirby R. K. and Hahn, T. A., 1971. These values are considered accurate to within ± 3% and are represented approximately by the following equations:

Type II (1900 K): $\Delta L/L_0 = 0.022 - 2.712 \times 10^{-4} T + 9.466 \times 10^{-7} T^2 - 9.313 \times 10^{-10} T^3$ (80-293 K)
 $\Delta L/L_0 = -0.014 + 4.028 \times 10^{-4} T + 2.733 \times 10^{-7} T^2 - 1.541 \times 10^{-10} T^3$ (293-1250 K)
 Type II (1300 K): $\Delta L/L_0 = 0.011 - 2.303 \times 10^{-4} T + 9.968 \times 10^{-7} T^2 - 1.181 \times 10^{-10} T^3$ (80-253 K)
 $\Delta L/L_0 = -0.022 + 6.728 \times 10^{-4} T - 3.200 \times 10^{-7} T^2 + 2.347 \times 10^{-10} T^3$ (203-1250 K)
 Type I (1400 K): $\Delta L/L_0 = 0.008 - 1.479 \times 10^{-4} T + 6.468 \times 10^{-7} T^2 - 4.773 \times 10^{-10} T^3$ (80-253 K)
 $\Delta L/L_0 = -0.015 + 3.968 \times 10^{-4} T + 4.668 \times 10^{-7} T^2 - 3.448 \times 10^{-10} T^3$ (293-1000 K)

The tabulated values for the coefficient of thermal expansion are obtained by differentiating the above equations and are considered accurate to about ± 5%.

† Type I fused silica is prepared by fusing quartz crystal powder in vacuum or low pressure inert gas atmosphere giving a material of negligible hydroxyl content.
 ‡ Type II is prepared by fusing quartz crystals in a flame giving about a 0.04 wt. % hydroxyl content.
 § The temperature is the fictive temperature from which the glass has been quenched.

図4.4.6 石英ガラスの熱膨張率

Y.S.Touloukian et.al. Directed; Thermophysical Properties of Matter (IFI/Plenum)

Thermal Expansion Vol.13 p355-371

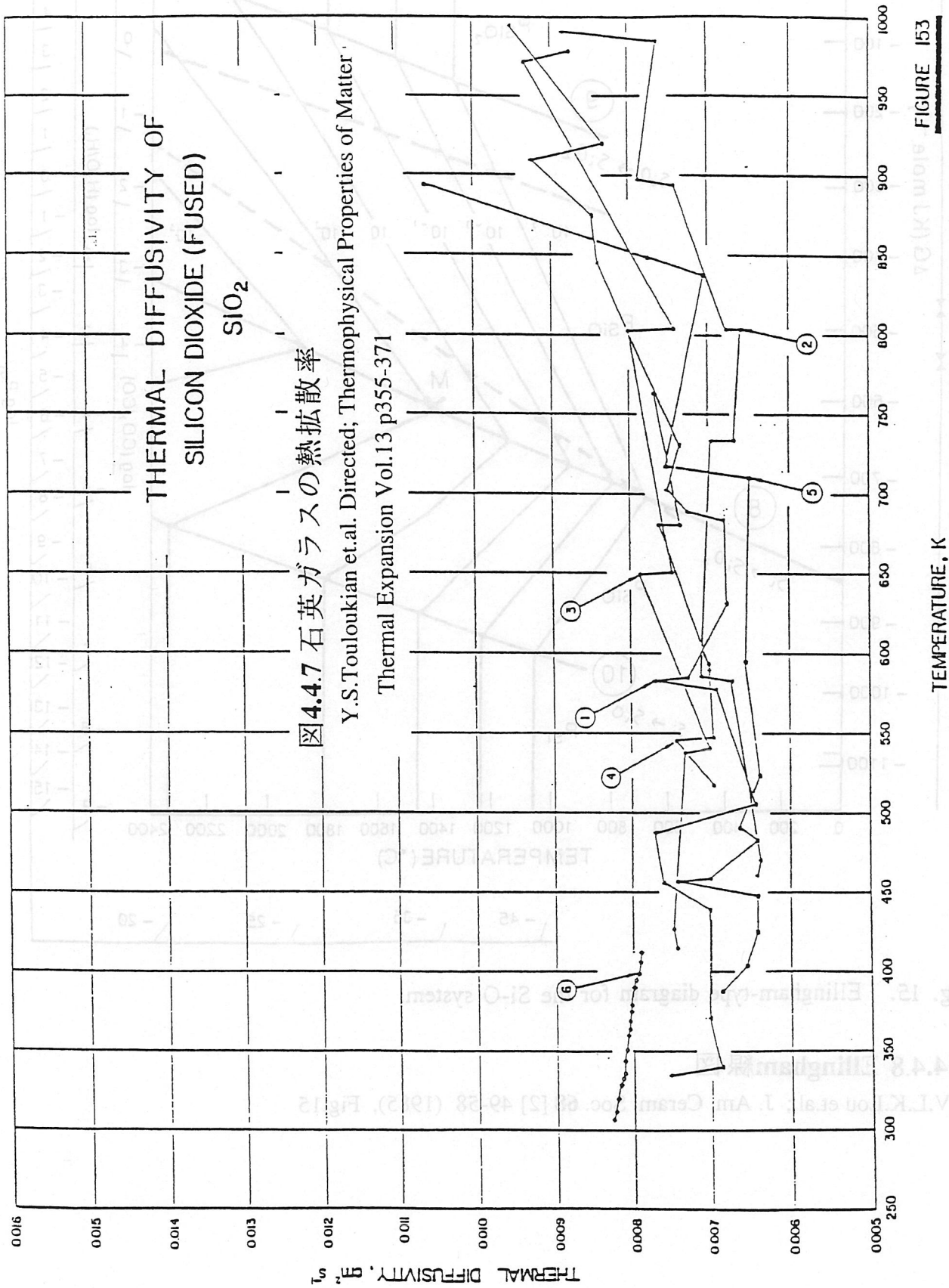


FIGURE 153

Edited: Y. S. Touloukian et al.; "Thermophysical Properties of Matter" Vol.10 P.399 PLENUM (1973)

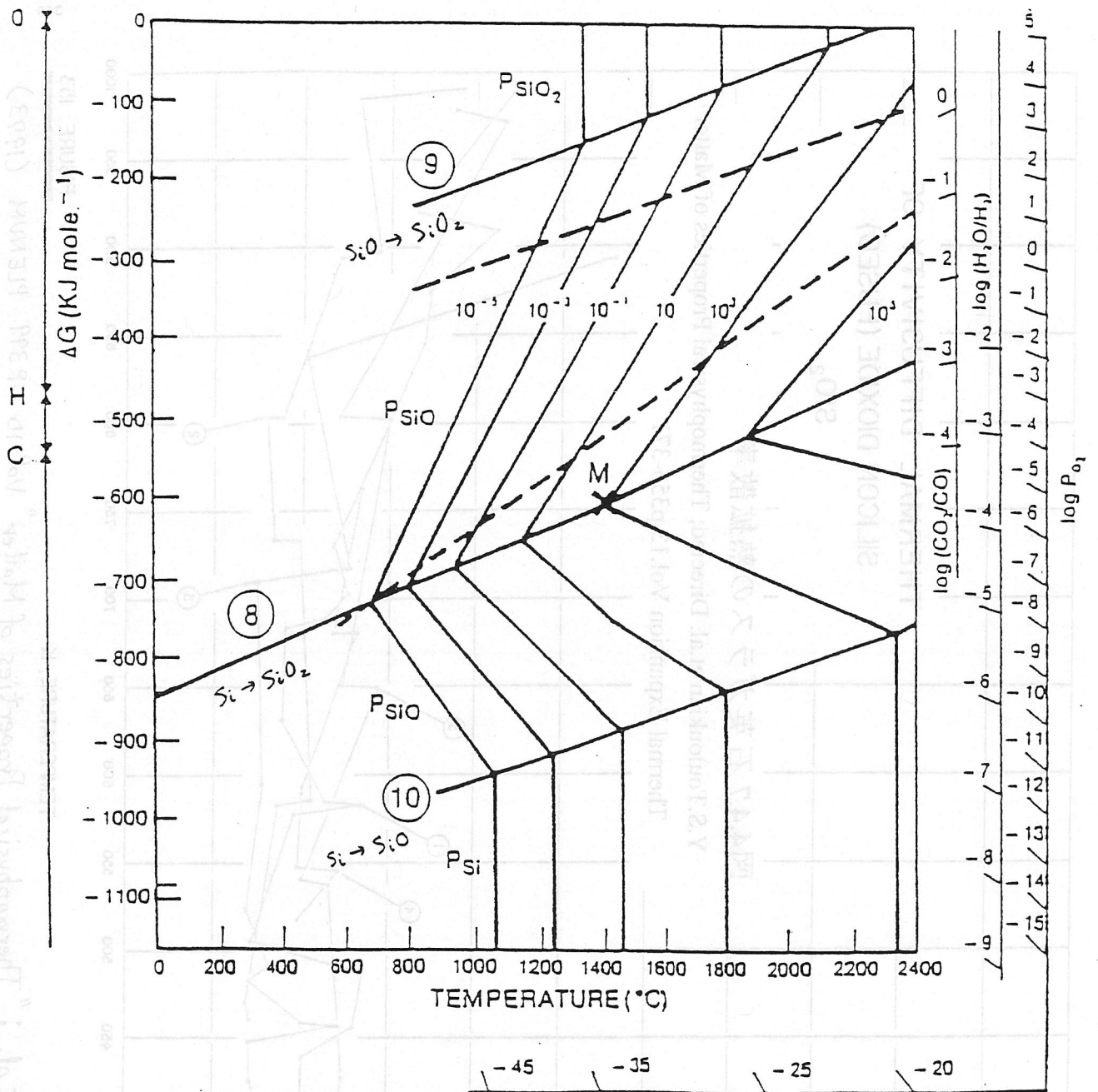


Fig. 15. Ellingham-type diagram for the Si-O system.

☒ 4.4.8 Ellingham線 ☒

V.L.K.Lou et al.; J. Am. Ceram. Soc. 68 [2] 49-58 (1985), Fig.15

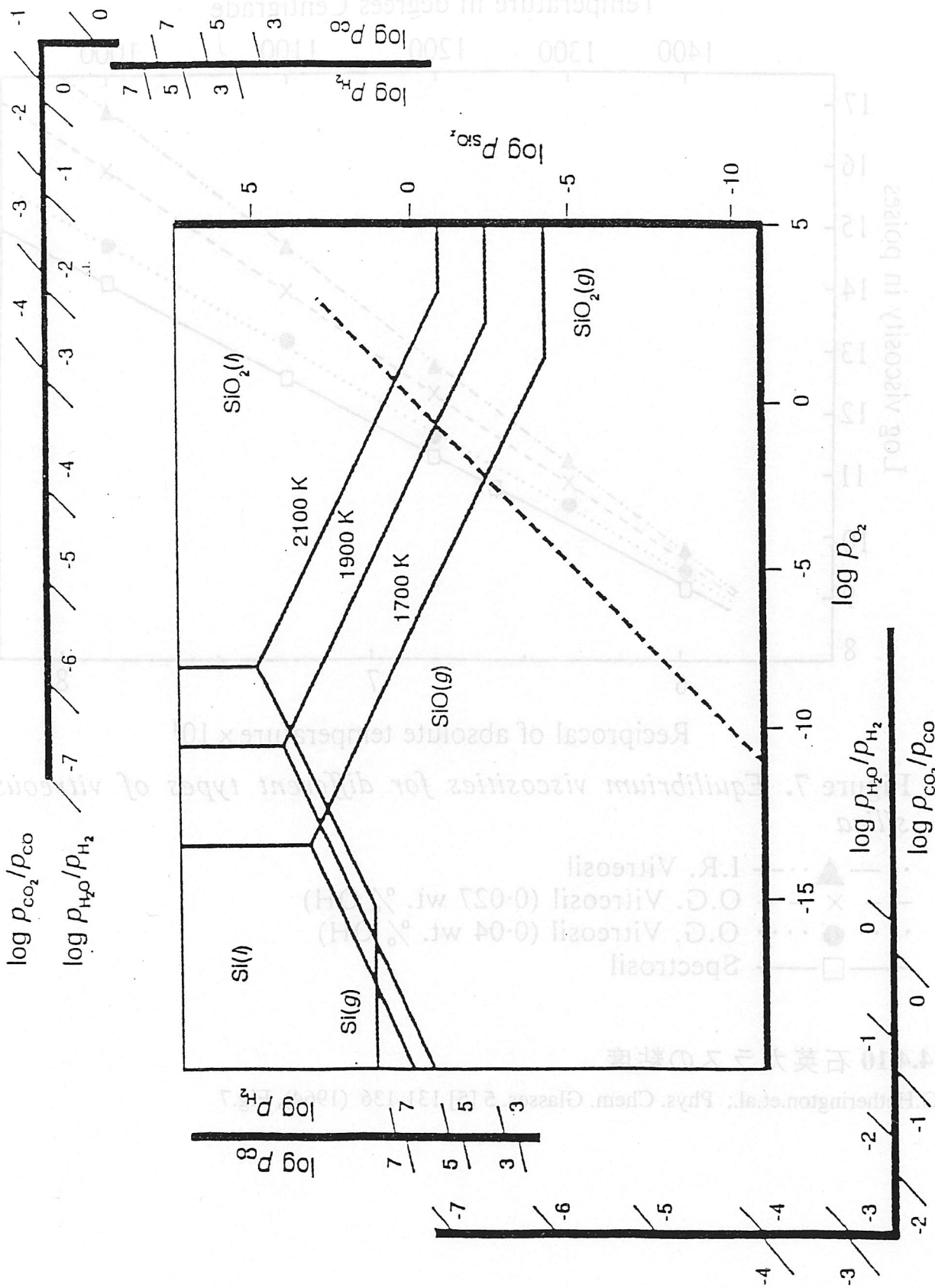


Fig. 1. Volatility diagram for the Si-O system for 1700, 1900, and 2100 K. The dashed line is the isomolar line.⁵ All pressures in this and subsequent figures are in pascals. A.H. Heuer et al.; J. Am. Ceram. Soc. 73 [10] 2785-3128 (1990)

4.4.9 Volatility線図

A.H.Heuer et.al.; J. Am. Ceram. Soc. 73 [10] 2789-2799 (1990), Fig..1

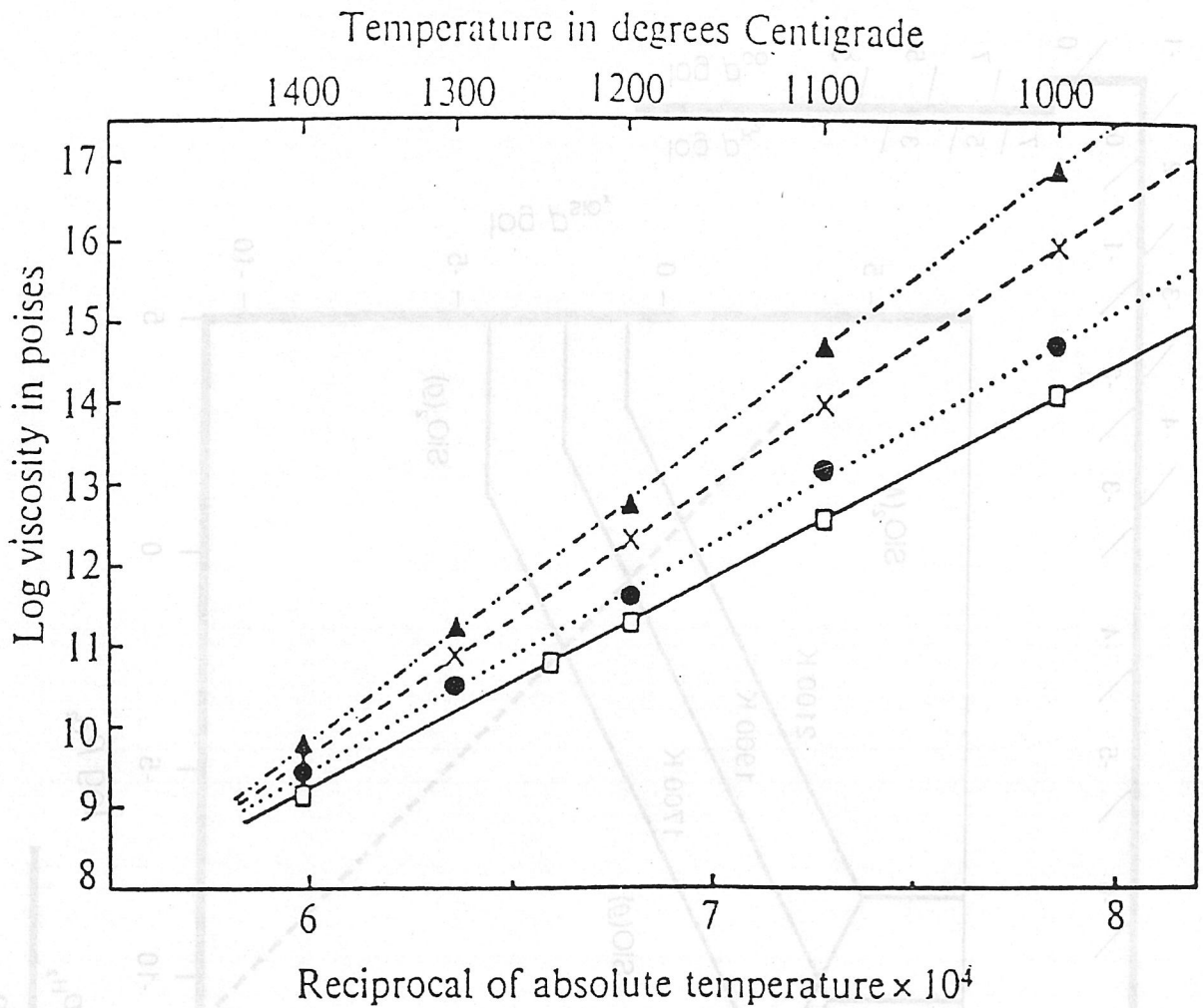


Figure 7. Equilibrium viscosities for different types of vitreous silica

- ▲··· I.R. Vitresil
- ×--- O.G. Vitresil (0.027 wt. % OH)
- O.G. Vitresil (0.04 wt. % OH)
- Spectrosil

図4.4.10 石英ガラスの粘度

G.Hetherington.et.al.; Phys. Chem. Glasses. 5 [5] 131-136 (1964), Fig.7

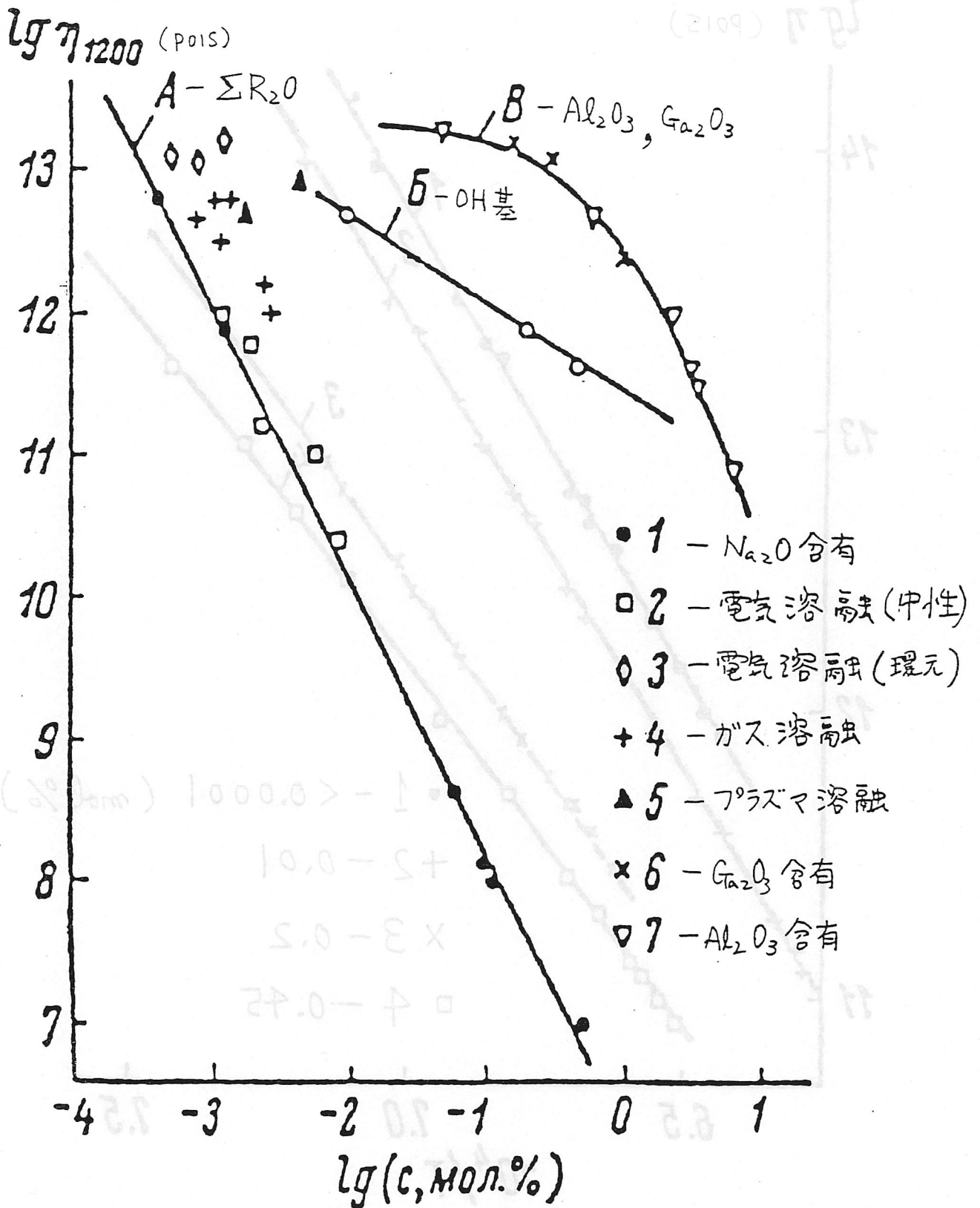


図 3. 混入物濃度 (mol%) に対する $T=1200^\circ C$ における粘度依存性.

図4.4.11 石英ガラスの粘度に対する不純物の影響

V.K.Leko et.al.; Fizika i Khimika Stekla. 3 [3] 219-226 (1977)

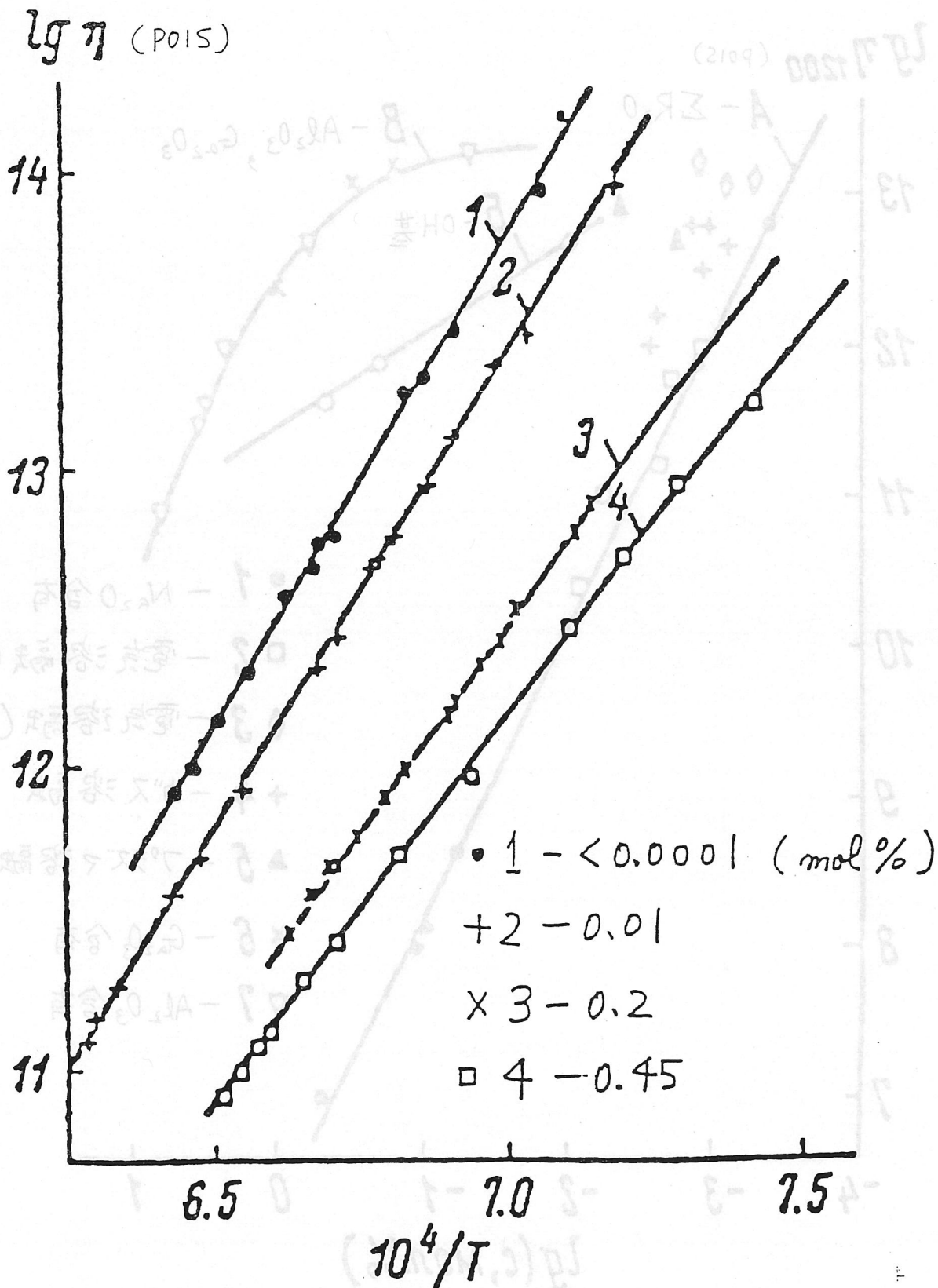


図 2 種々の「構造」水 (OH基) 含有
 石英ガラス粘度の温度依存性。

図4.4.12 石英ガラスの粘度に対するOHの影響

V.K.Leko et.al.; Fizika i Khimika Stekla. 3 [3] 219-226 (1977)

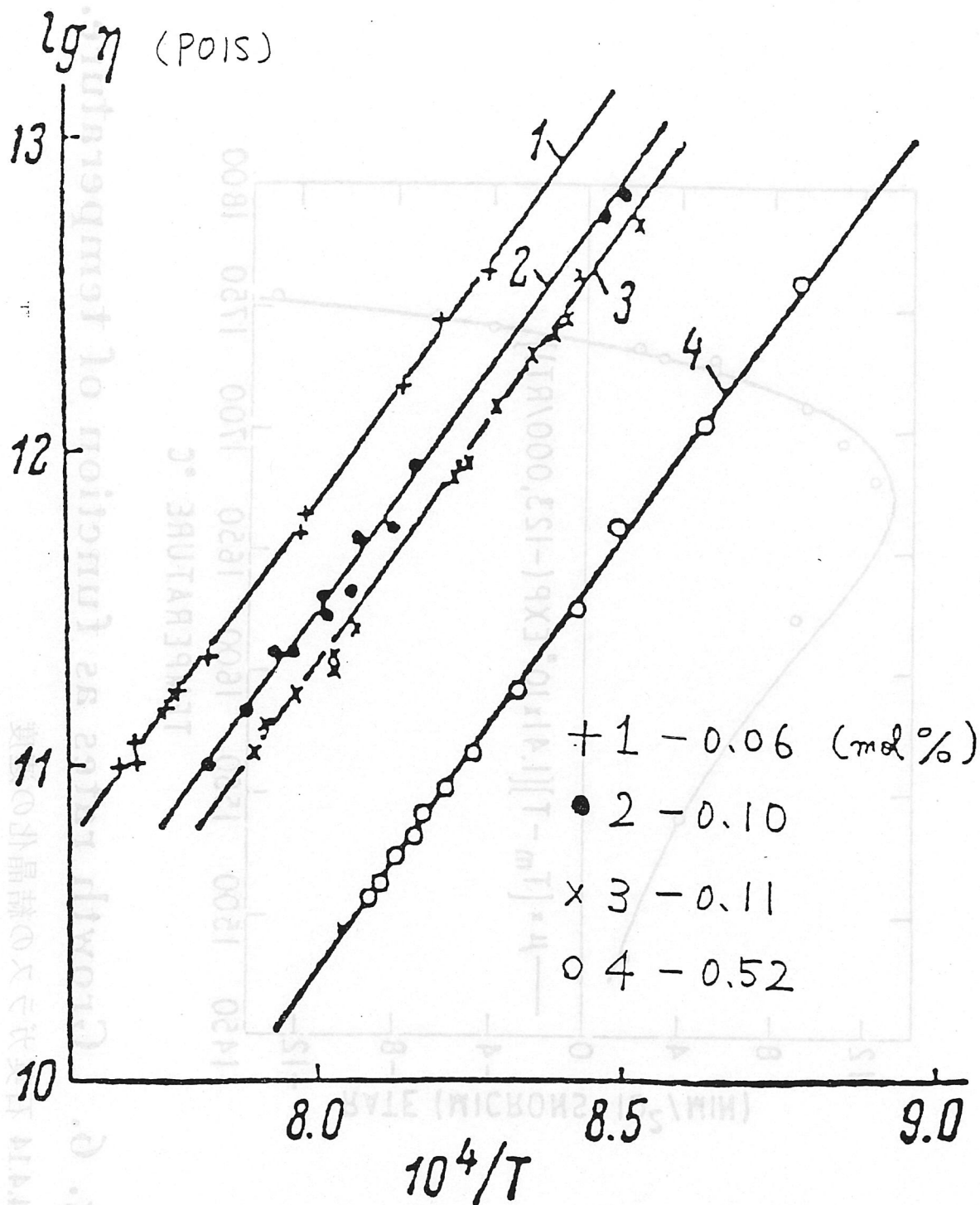


図1 Na_2O 濃度 (mol%) を変化させた時の
石英ガラス粘度の 温度依存性

図4.4.13 石英ガラスの粘度に対するNaの影響

V.K.Leko et.al.; Fizika i Khimika Stekla. 3 [3] 219-226 (1977)

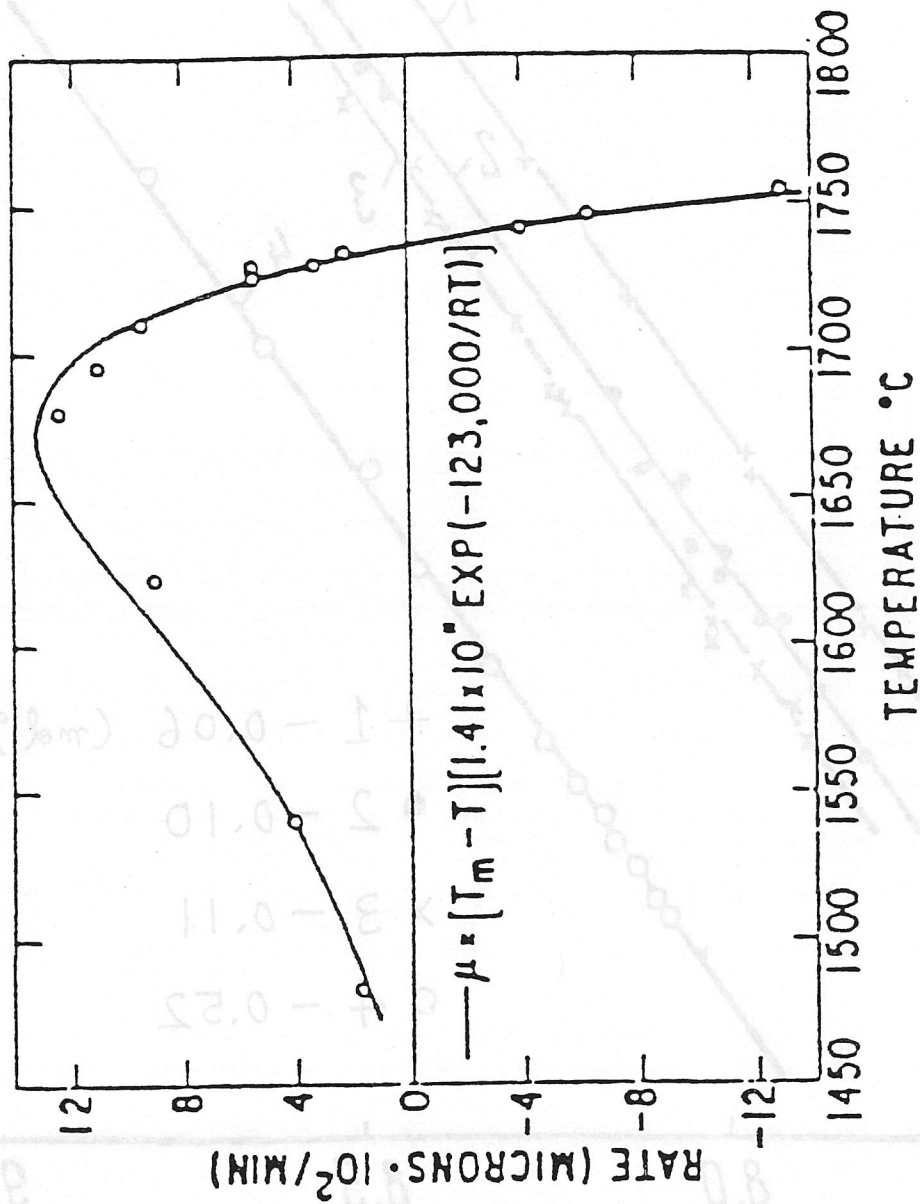


Fig. 6. Growth rates as function of temperature.

図4.4.14 石英ガラスの結晶化の速度

F.E. Wagstaff; J. Am. Ceram. Soc. 52 [12] 650-654 (1969)

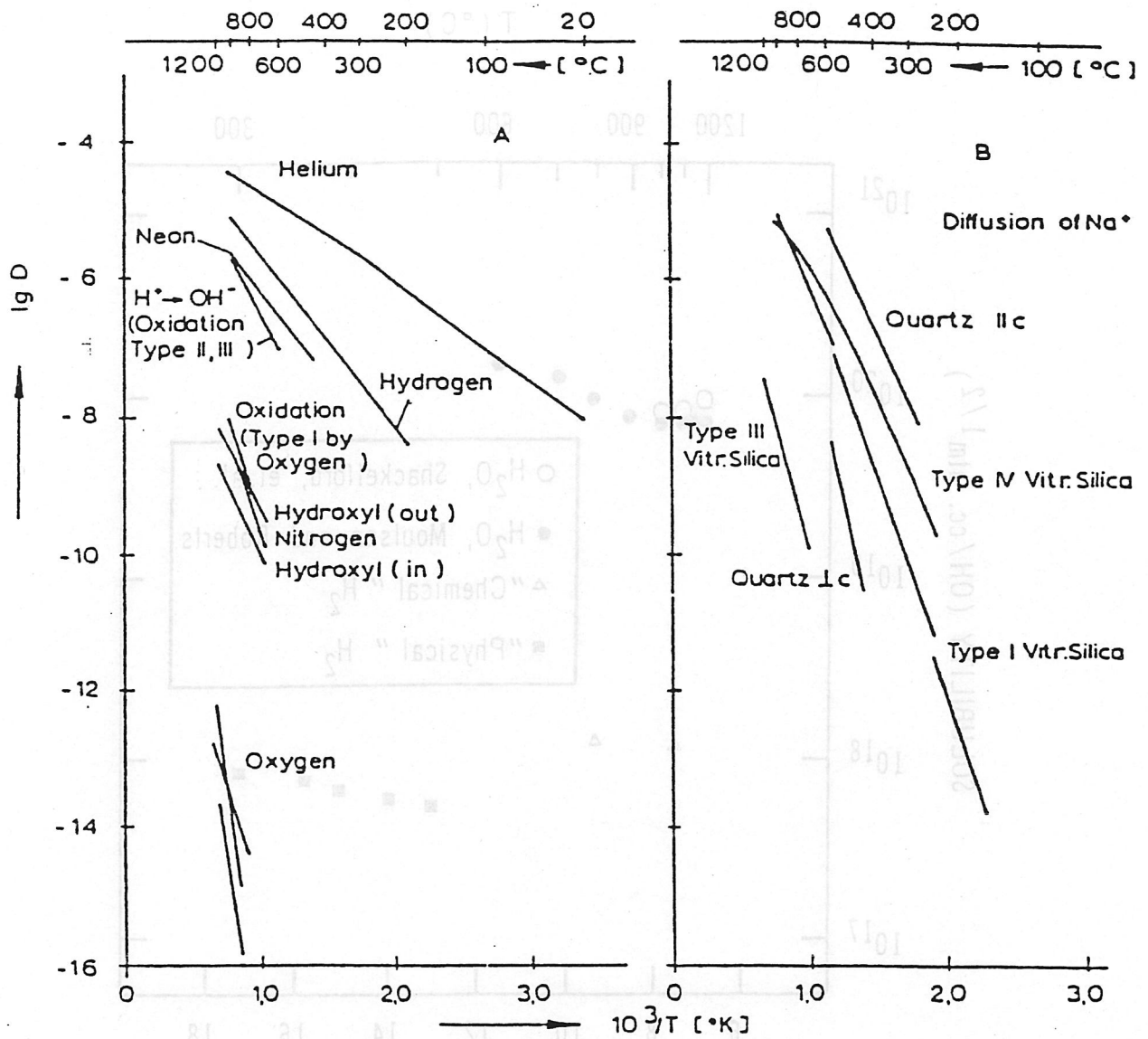


Fig. 36. Diffusion of atoms, molecules, and ions, mostly in type II silica glasses (A). Diffusion of sodium ions in quartz and in various silica glasses¹⁶⁸⁾ (B).

図4.4.15 石英ガラス中の拡散係数

R.Brückner; J. Non-Cryst. Solids 5 177-216 (1971)

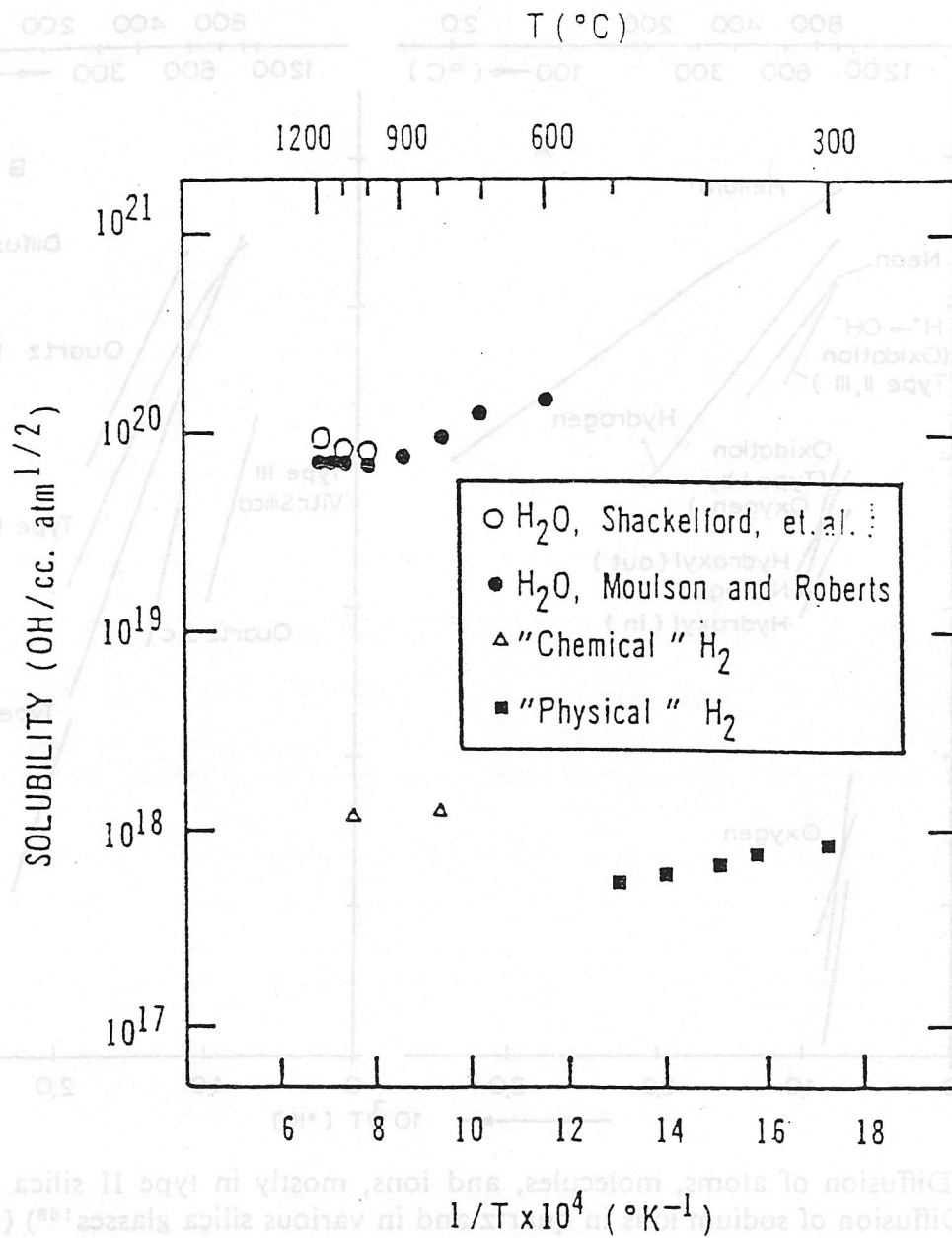


Fig. 2. The solubility of H_2 and H_2O in fused silica. See text for detailed discussion.

図4.4.16 石英ガラスの水素と水の溶解度

J.F.Shackelford et.al.; J. Non-Cryst. Solids 21 55-64 (1976)

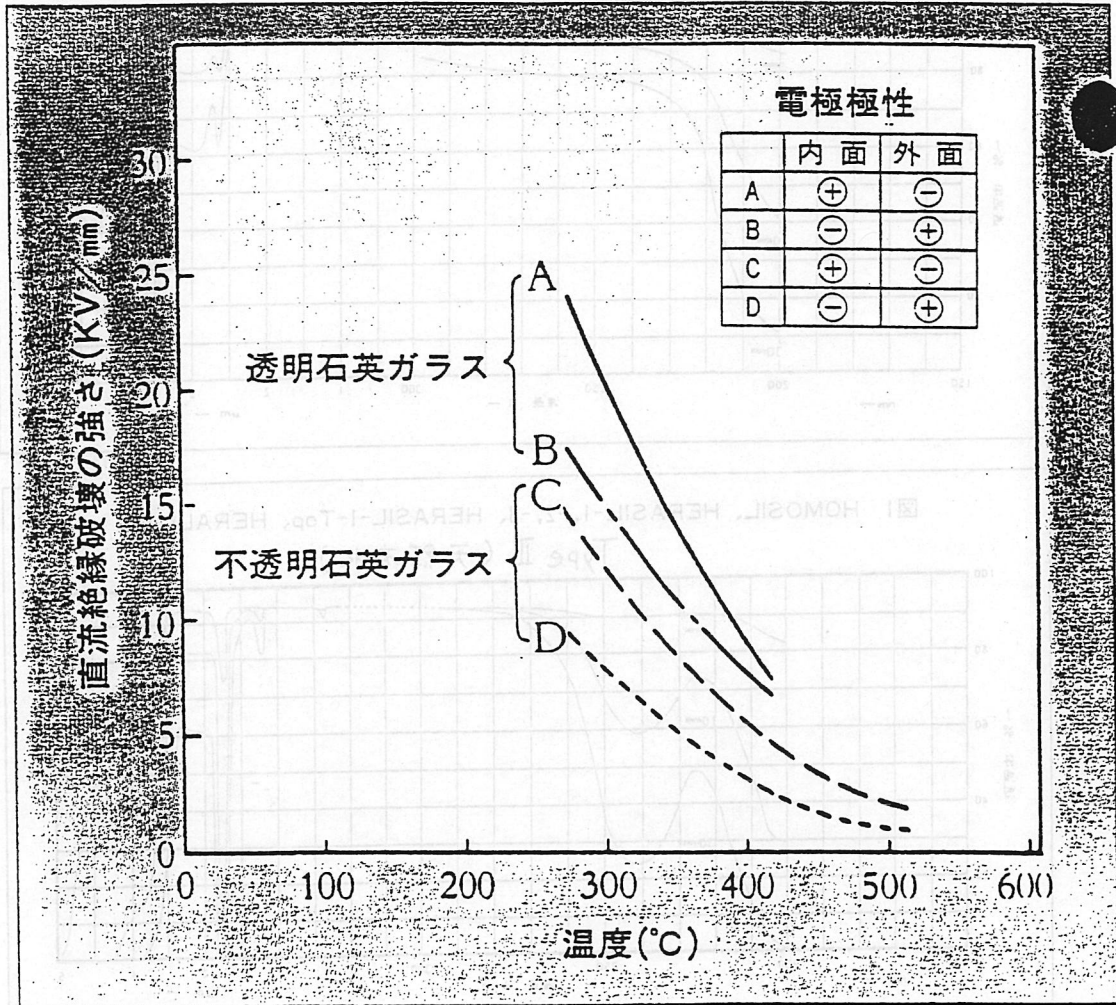
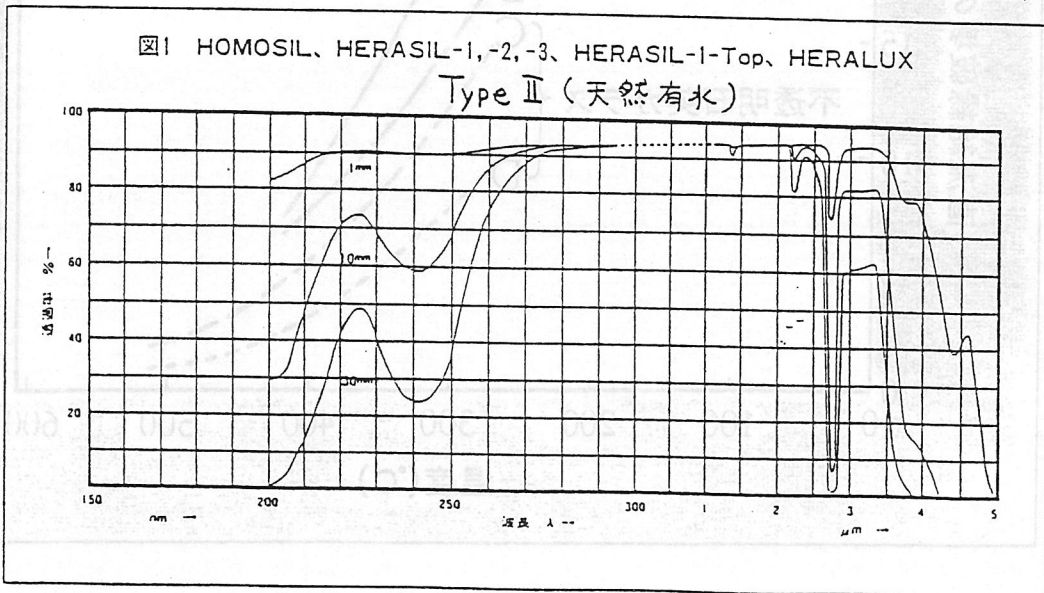
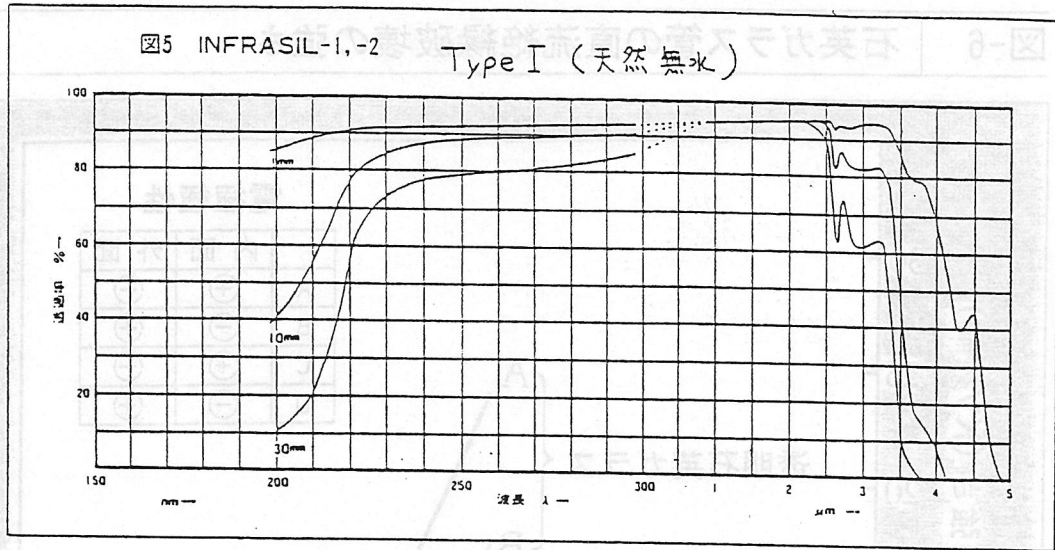


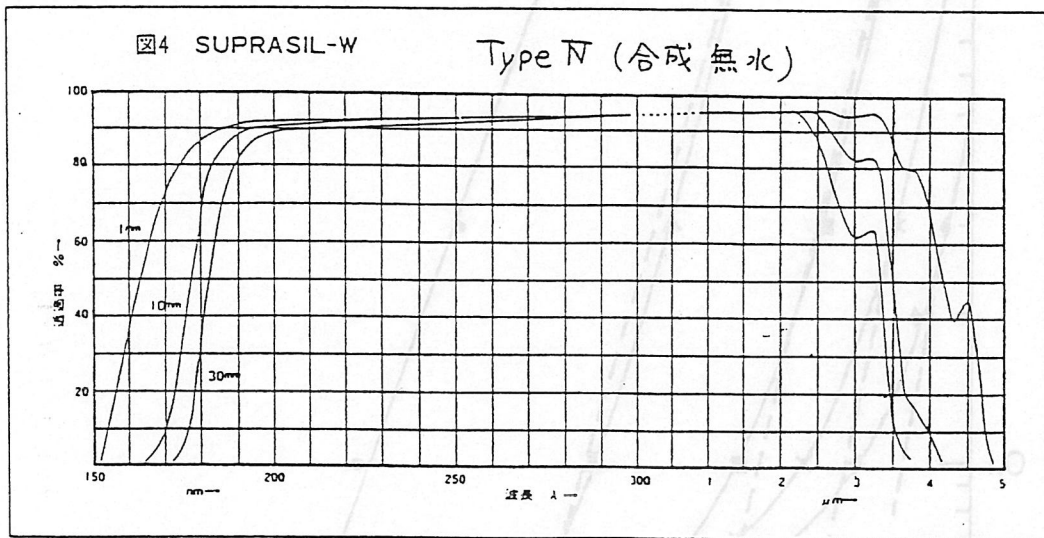
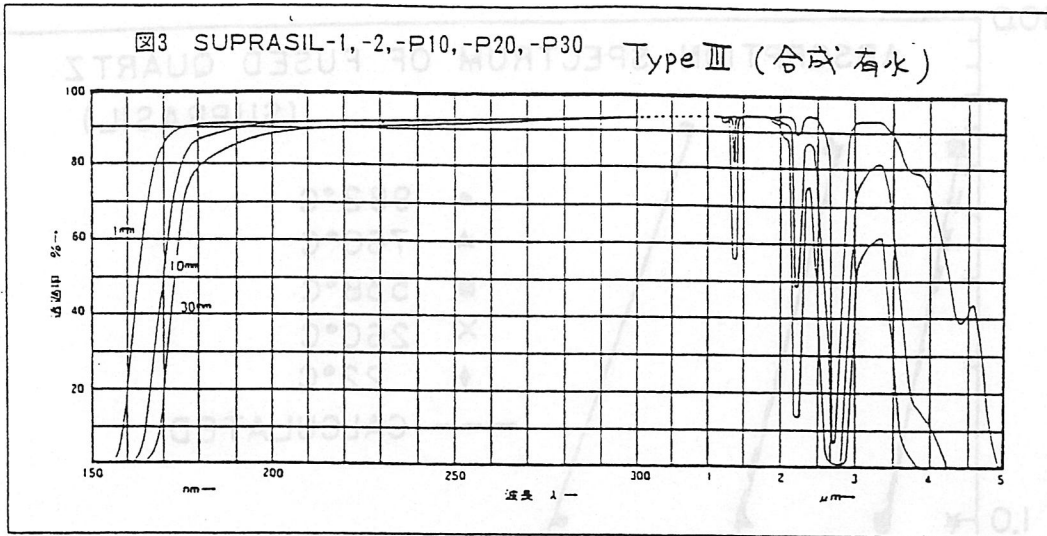
図4.4.17 石英ガラスの絶縁耐圧

東芝セラミックス株式会社 石英ガラスカタログ



信越石英カタログ QA-1

図4.4.18a 天然石英ガラスの分光透過率
信越石英カタログ QA-1(1989)



信越石英カタログ QA-1

図4.4.18b 合成石英ガラスの分光透過率
信越石英カタログ QA-1(1989)

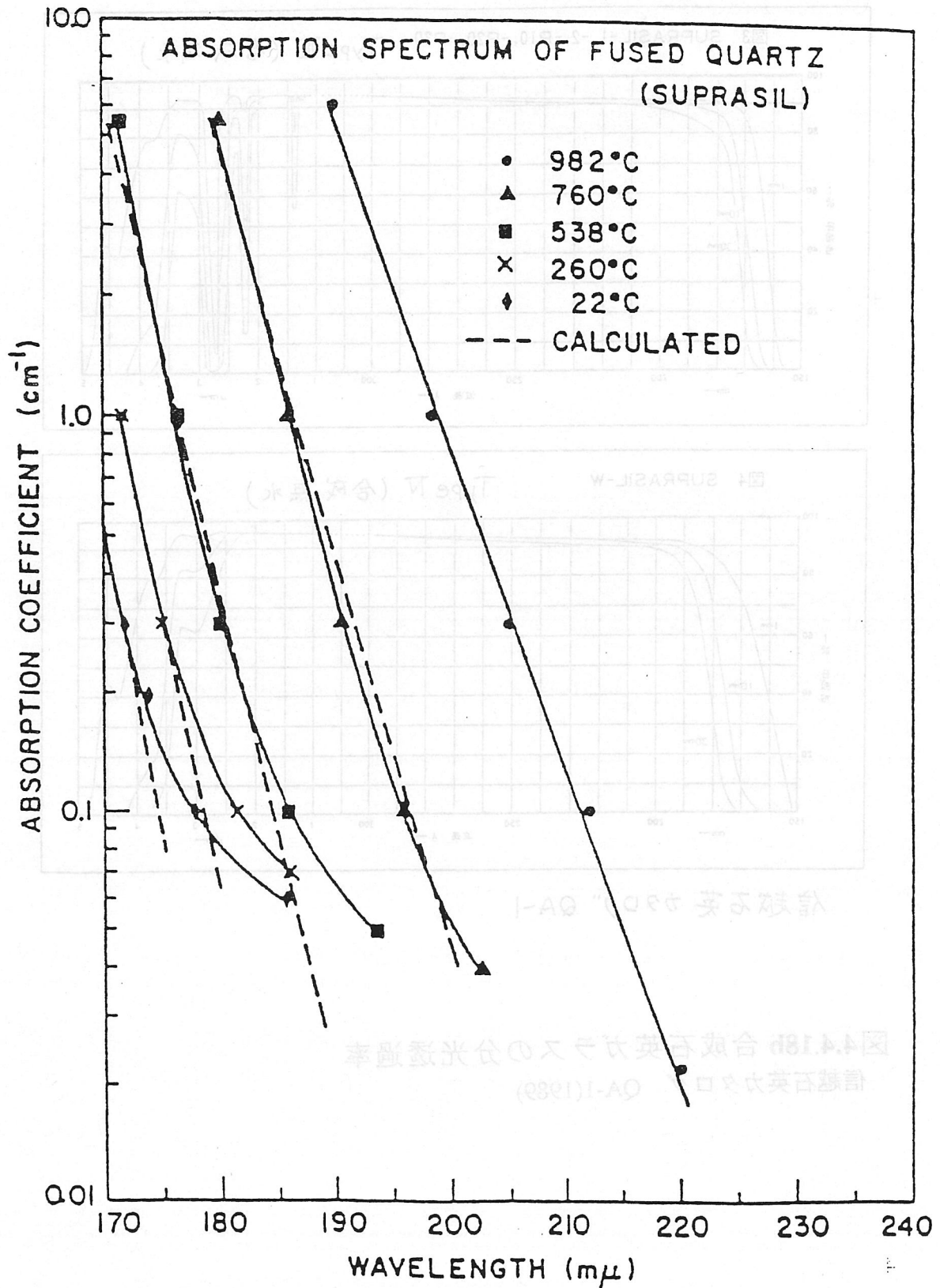


Fig. 2. Absorption spectrum of fused quartz (Suprasil) as a function of temperature.

図4.4.19 石英ガラスの高温における紫外部の吸収

C.W.Bates, Jr.; Appl. Opt. 15 [12] 2976-2978 (1976)

図6 屈折率と波長の関係

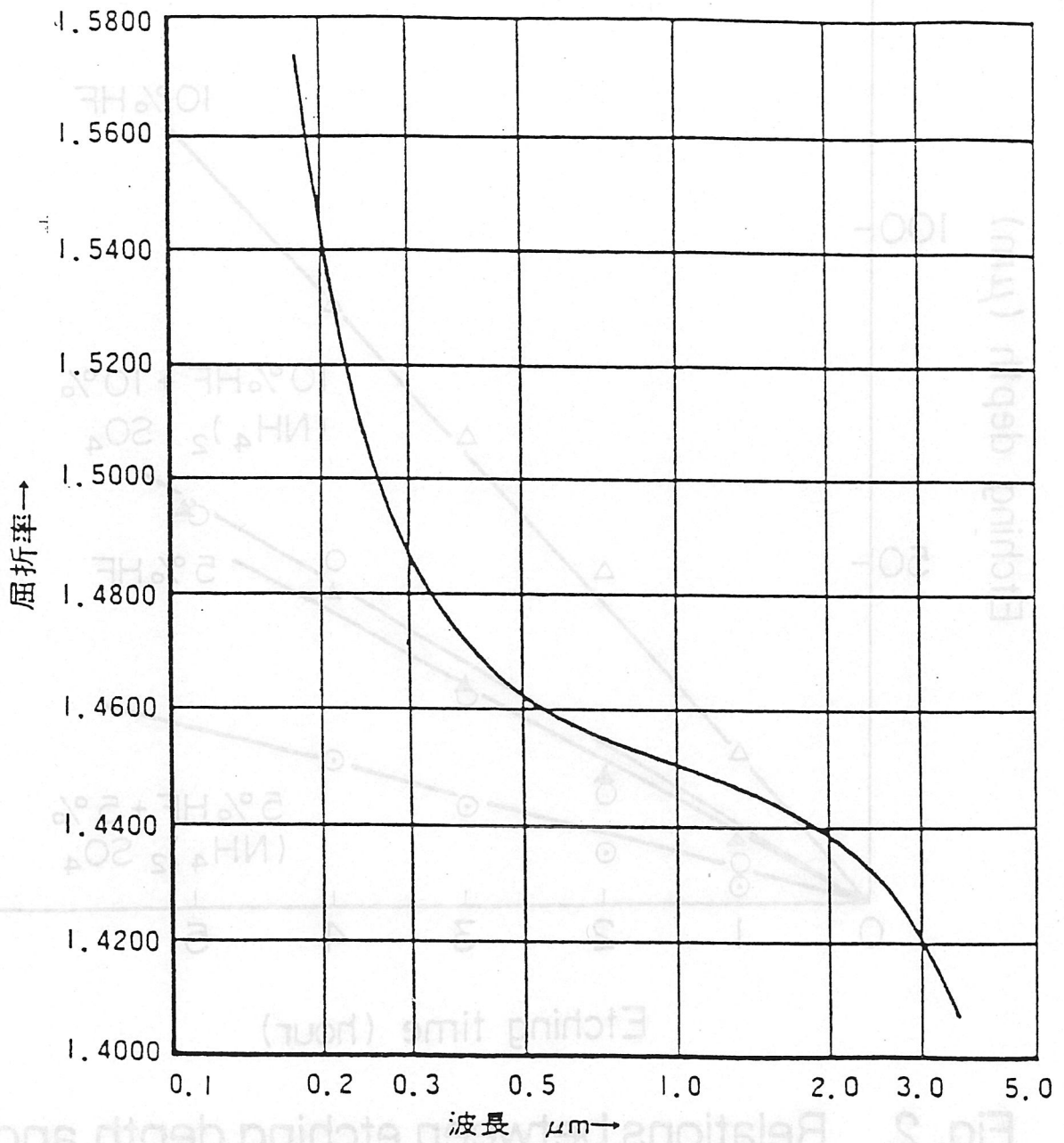


図4.4.20 石英ガラスの屈折率

信越石英カタログ QA-1(1989)

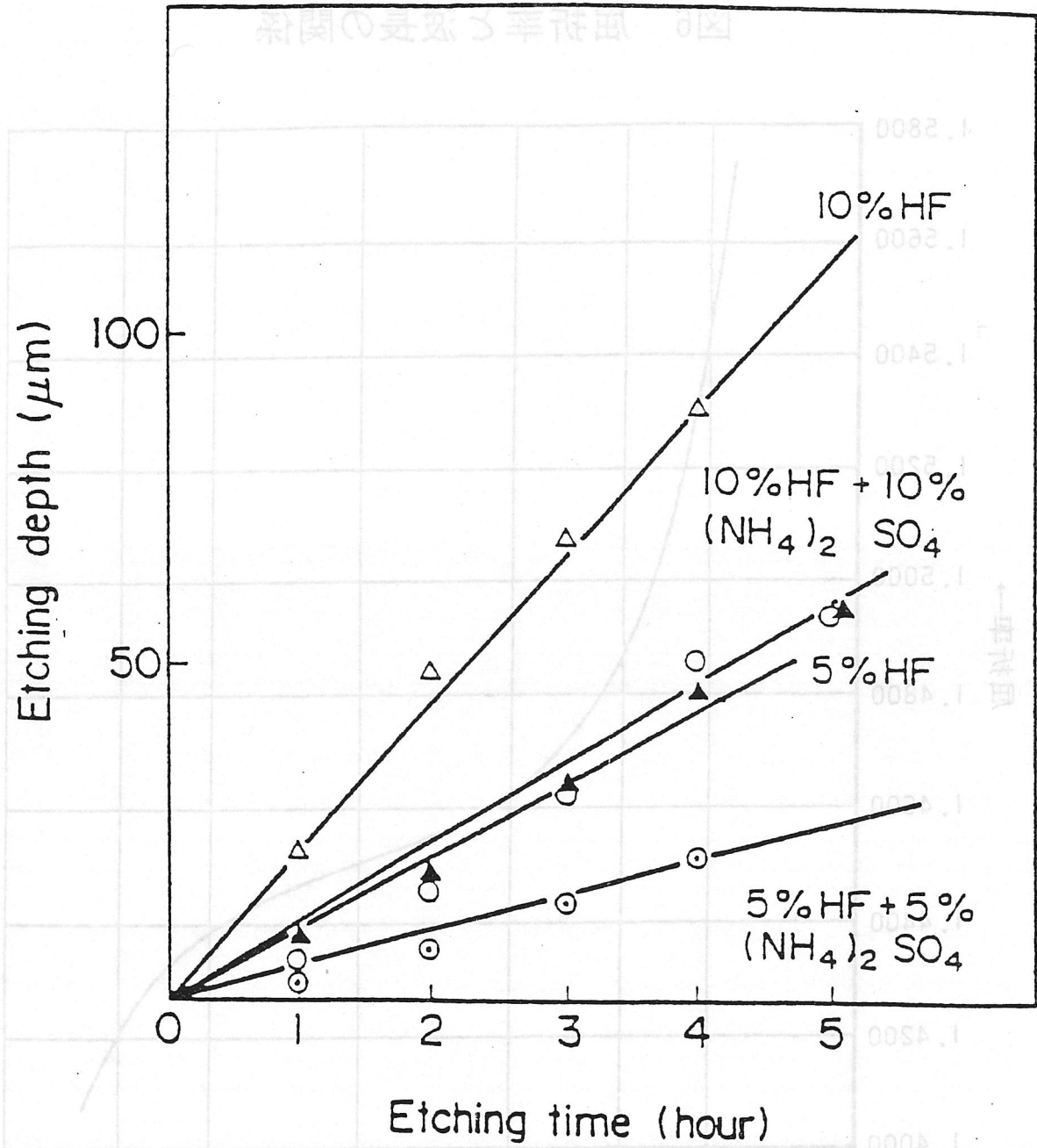


Fig. 2. Relations between etching depth and etching time.

図4.4.21 HFによる石英ガラスのエッチング-種類

K.Kobayashi; Am. Ceram. Soc. Bull. 66 [5] 807-809 (1987)

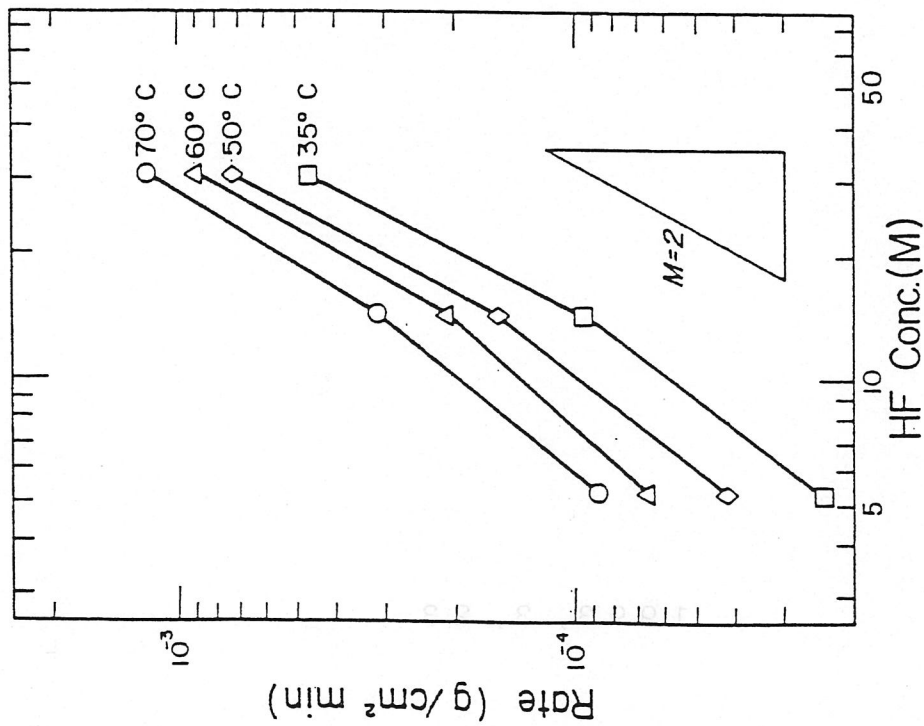


Fig. 5. Log-log plot of fused silica dissolution rate vs HF concentration.

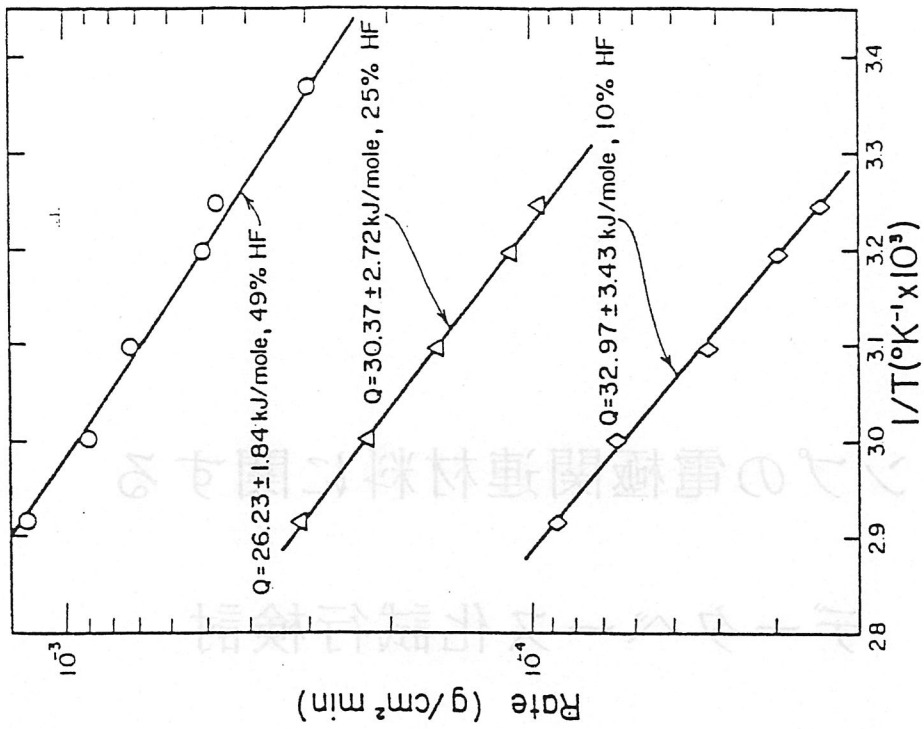


Fig. 6. Temperature dependence of the rate of dissolution of fused silica as a function of the HF concentration.

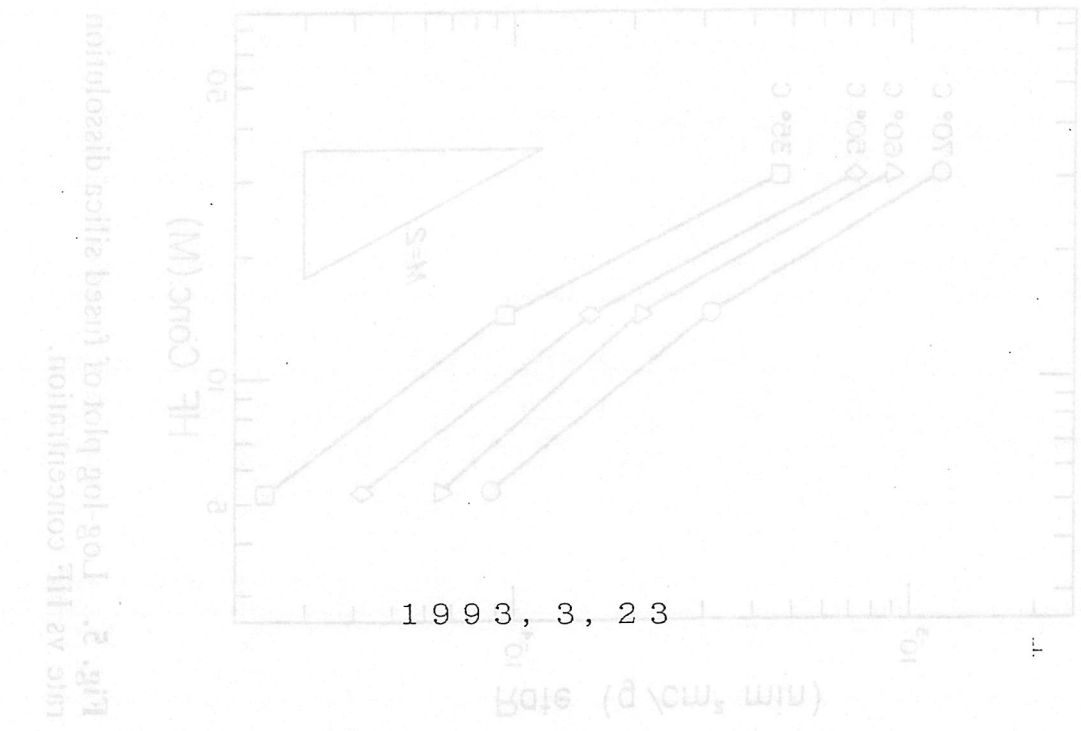
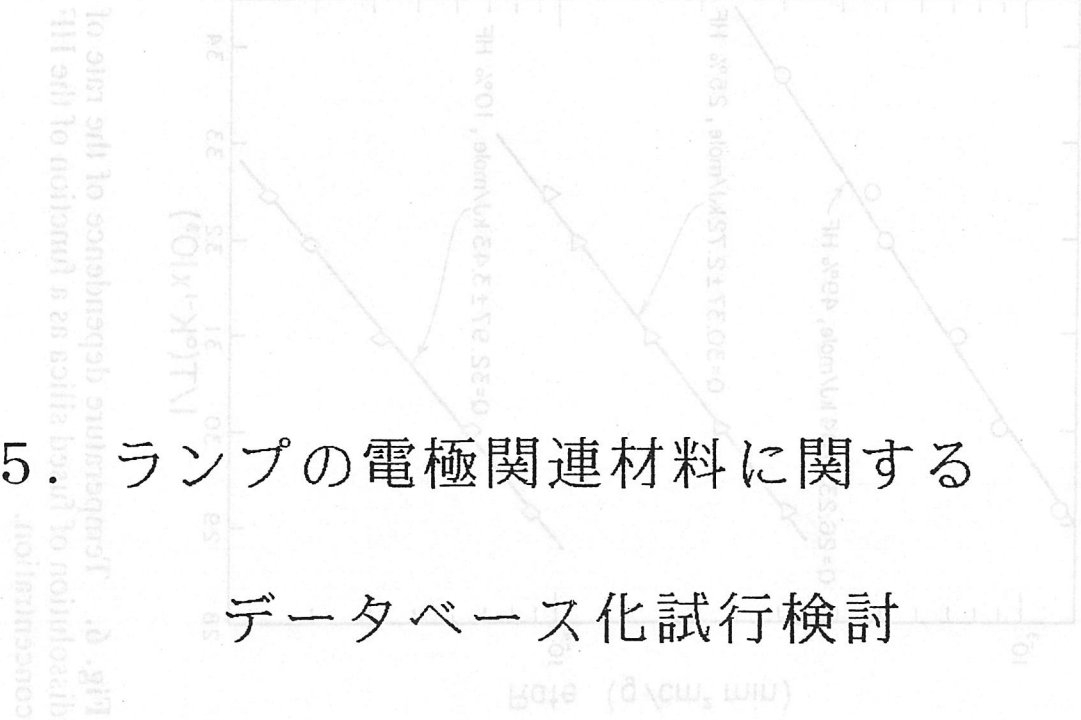
図4.4.22 HFによる石英ガラスのエッチング-濃度、温度

D-T Llang et.al.; J. Am. Ceram. Soc. 70 [8] 570-577 (1987)

5. ランプの電極関連材料に関する データベース化試行検討

D. T. G. ... 1993, 3, 23

図 4-133 HE による ...



光源システム関連情報研究調査委員会

電極材料班

目次

1. はじめに 5-1

2. データの収集分類 5-1

2.1 タングステン

2.2 電子放射物質

3. データ 5-3

3.1 タングステン

3.1.1 基本的な物性データ

3.1.2 光学的及び放射に関するデータ

3.1.3 高温における特性データ

3.2 電子放射物質

3.3 出典

4. 今後の課題 5-13

1. はじめに

ランプの構成材料の中でも電極は最も重要な部分の1つである。電極の性質は電極基体、電子放射物質及び形状によって決まるが、当電極材料班では形状因子までのデータベース化は行なわず、電極基体と電子放射物質に限って試行検討を行なった。

2. 電極収集分類

電極に関するデータ、特にH I Dランプ用の電極に関するデータは、その動作が高温であること、メタルハライドランプのように封入物との反応にも影響される因子等もあるため他のランプ材料に比し実用的なデータは余り無いのが実情である。従って、データ収集は基本的な特性に限った。

2. 1 タングステン

電極材料中、重要となるタングステンのデータについては以下3項目に分類し、各項目ごとにまとめた。

・ 基本的な物性データ

タングステンの構造、熱的及び力学的性質について代表的な値を記載した。その際、温度など状態によって値が異なる場合は、その条件も付記した。

・ 光学的及び放射に関するデータ

仕事関数、X線特性、分光放射特性についてまとめた。仕事関数については、各条件（回折面・結晶面）におけるデータを記載した。また分光放射特性は、波長、温度に対する放射強度を数値で示した。

・ 高温における特性

温度により数値が異なる主なデータ（放射、蒸気圧、比熱）について各温度におけるデータを数値で記載した。

2. 2 電子放射物質

電子放射物質は単体、酸化物、ホウ化物、窒化物及び複合化合物とした。また特性として、リチャードソンダッシュマンの式

$$j = AT^2 \cdot \exp(-b_0/T)$$

$$b_0 = \phi_0 e / k$$

j : 電流密度 (A/cm²)

T : 基底温度 (K)

φ₀ : 仕事関数 (eV)

k : ボルツマン定数

e : 電荷

A : 定数

のうち、A及びφ₀を主とした。φ₀は熱電子放出、光電子放出両方に係わるため、双方も記載した。Aは値に幅があるため、10のべき乗で示してある。φ₀については巾があるものはそのまま記載した。b₀は理論上φ₀に従うので、記載が無いものについてはφ₀のどちらかを用いて計算値として乗せてある。(*印)

1		A	3.158																																
2		A	5.038																																
3	20°C	A	3.1847																																
4																																			
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>10⁻¹⁰ W</td> <td>10⁻¹⁰ W</td> <td>10⁻¹⁰ W</td> <td>10⁻¹⁰ W</td> <td>10⁻¹⁰ W</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>74</td> <td>74</td> <td>74</td> <td>74</td> <td>74</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>112</td> <td>110</td> <td>109</td> <td>108</td> <td>106</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>182.9503</td> <td>183.9510</td> <td>182.9503</td> <td>181.9483</td> <td>179.9470</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>30.84</td> <td>30.84</td> <td>14.40</td> <td>28.41</td> <td>0.14</td> </tr> </table>						1	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	2	74	74	74	74	74	3	112	110	109	108	106	4	182.9503	183.9510	182.9503	181.9483	179.9470	5	30.84	30.84	14.40	28.41	0.14
1	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W	10 ⁻¹⁰ W																														
2	74	74	74	74	74																														
3	112	110	109	108	106																														
4	182.9503	183.9510	182.9503	181.9483	179.9470																														
5	30.84	30.84	14.40	28.41	0.14																														
1		A	1.388																																
1		A	0.68 (W ⁻¹)																																
1		eV	7.98		I																														
1		eV	12.7		II																														
2.4		per ns ² eV ²	19.2 ± 0.1		断面吸収率中核																														

3. データ

3.1 タングステン

3.1.1 基本的な物性データ

項目	データ	単位	条件	出典	
元素記号	W				
原子番号	74				
原子量	183.85 ± 3			1	
基底状態時の電子配置	5d ⁴ 6s ²			1	
密度	19.2	g · cm ⁻³	0°C, 1atm	5	
	19.21	g/cm ³		2	
	19.3	g/cc		4	
結晶系	α相	空間群 Im3m 体心立方格子		1	
	β相	空間群 Pm3n 面心立方格子, 体心立方格子の混合			
格子定数	α相	3.156	Å	1	
	β相	5.038	Å		
		3.1647	Å	20°C	3
同位体				4	
核種	¹⁸⁰ W	¹⁸² W	¹⁸³ W	¹⁸⁴ W	¹⁸⁶ W
原子番号	74	74	74	74	74
中性子数	106	108	109	110	112
原子量(a.m.u)	179.9470	181.9483	182.9503	183.9510	185.9543.
存在比(%)	0.14	26.41	14.40	30.64	28.41
原子半径	1.366		Å		1
イオン半径	0.66 (W ⁴⁺)		Å		1
イオン化ポテンシャル	I	7.98	eV		1
	II	17.7	eV		1
熱中性子吸収断面積	19.2 ± 0.1		berns/atom		2,4

項目	データ	単位	条件	出典
デバイ温度	400	K		5
融点	3387	°C		5
	3382	°C		1
	3410±20	°C		2
	3395±15	°C		4
沸点	5530	°C		4
	5927	°C		5
	5900	°C		2
比熱	0.032	cal/g°C	20°C	3
	0.036	cal/g°C	1000°C	
	0.068	J·g ⁻¹ ·K ⁻¹	-196°C	2
	0.120	J·g ⁻¹ ·K ⁻¹	-100°C	
	0.133	J·g ⁻¹ ·K ⁻¹	0°C	
	0.135	J·g ⁻¹ ·K ⁻¹	100°C	
	0.140	J·g ⁻¹ ·K ⁻¹	300°C	
融解熱	9.6±1.6	cal/mol		2
	61	cal/gm		4
蒸発熱	1.183	cal/g		2
蒸気圧	750	mmHg	6970°C	1
	10 ⁻⁸	Torr	2067°C	2
	10 ⁻⁷	Torr	2207°C	
	10 ⁻⁶	Torr	2367°C	
	10 ⁻⁵	Torr	2547°C	
	10 ⁻⁴	Torr	2757°C	
	10 ⁻³	Torr	3007°C	
	10 ⁻²	Torr	3297°C	
熱伝導度	0.382	cal·cm ⁻¹ s ⁻¹ deg ⁻¹	20°C	1
	0.289	cal·cm ⁻¹ s ⁻¹ deg ⁻¹	2027°C	
	0.28	cal/cm·sec·°C	827°C	2
	0.275	cal/cm·sec·°C	927°C	
	0.272	cal/cm·sec·°C	1027°C	
	0.268	cal/cm·sec·°C	1127°C	
	0.264	cal/cm·sec·°C	1227°C	
	0.260	cal/cm·sec·°C	1327°C	
	0.256	cal/cm·sec·°C	1427°C	
	0.253	cal/cm·sec·°C	1527°C	
	0.249	cal/cm·sec·°C	1627°C	
	0.245	cal/cm·sec·°C	1727°C	

項目	データ	単位	条件	出典	
硬さ, 硬度	5~8			1	
線膨張率	4.44×10^{-6}	deg ⁻¹	27°C	1	
	7.26×10^{-6}	deg ⁻¹	2027°C		
	2.6×10^{-6}	deg ⁻¹	100K	5	
	4.5×10^{-6}	deg ⁻¹	293K		
	4.6×10^{-6}	deg ⁻¹	500K		
	5.0×10^{-6}	deg ⁻¹	800K		
ねじれ係数	21.6×10^{-11}	dyne/cm ²	296K	1	
引張り強さ	15~35	Pa (N·m ⁻²)		5	
	線引きのまま	170	kgf/mm ²	線径 1.0mm (φ)	2
		220	kgf/mm ²	線径0.39mm (φ)	
		270	kgf/mm ²	線径0.18mm (φ)	
		290	kgf/mm ²	線径0.08mm (φ)	
	1400°C焼鈍	140	kgf/mm ²	線径 1.0mm (φ)	
		190	kgf/mm ²	線径0.39mm (φ)	
		230	kgf/mm ²	線径0.18mm (φ)	
		250	kgf/mm ²	線径0.08mm (φ)	
	2200°C焼鈍	80	kgf/mm ²	線径 1.0mm (φ)	
		110	kgf/mm ²	線径0.39mm (φ)	
		120	kgf/mm ²	線径0.18mm (φ)	
		120	kgf/mm ²	線径0.08mm (φ)	
ヤング率	3.96×10^9	g/cm ²	27°C	1	
	35.15×10^9	kgf/mm ²		2	
剛性率	15.18×10^9	kgf/mm ²		2	
	1.35×10^9	kg/cm ²		1	
ポアソン比	0.284		20°C	2	
比抵抗	5.64×10^{-6}	Ω cm	300K	1	
	115.7×10^{-6}	Ω cm	3800K		
電気抵抗	5.5	μ Ω · cm	20°C	2,4	
	25.5	μ Ω · cm	750°C		
	40	μ Ω · cm	1200°C		
	85	μ Ω · cm	2400°C		
電気抵抗の温度係数	5.1×10^{-3}	/°C	0~170 °C	2	

3. 1. 2 光学的及び放射に関するデータ

(注) 単位はÅ

項目		データ	単位	条件	出典
仕事関数		4.59	eV	切断面 [310] 結晶面(100)	3
		5.15	eV	切断面 [100] 結晶面(110)	
		5.79	eV	切断面 [110] 結晶面(110)	
		5.02	eV	切断面 [310] 結晶面(110)	
		4.49	eV	切断面 [310] 結晶面(111)	
		4.93	eV	切断面 [310] 結晶面(211)	
		4.21	eV	切断面 [310] 結晶面(310)	
固有X線	K	$\alpha_{1,2}$	0.211	Å	4
		α_1	0.209	Å	
	α_2	0.213	Å		
	β_1	0.184	Å		
	β_3	0.185	Å		
	β_2	0.179	Å		
	K吸収端	0.178	Å		
	L	$\alpha_{1,2}$	1.476	Å	
		$\alpha_{1,2}$	1.487	Å	
		β_1	1.282	Å	
		β_2	1.245	Å	
		γ_1	1.098	Å	
	M	α_1	6.983	Å	
		α_2	6.990	Å	
		β	6.756	Å	
γ		6.088	Å		
	l	8.96	Å		
X線吸収波長	K	-	1.7838	Å	
	L	L _I	1.02452	Å	
		L _{II}	1.07465	Å	
		L _{III}	1.21553	Å	
	M	M _I	43.74	Å	
		M _{II}	48.10	Å	
		M _{III}	54.41	Å	
M _{IV}		65.00	Å		
	M _V	67.16	Å		

(分光放射特性)

S . I . 8

波長 (μm)	放射強度 (W/cm^2)							
	1200K	1400K	1600K	1800K	2000K	2200K	2400K	2600K
0.300	0.486	0.483	0.480	0.477	0.474	0.471	0.468	0.465
0.350	0.485	0.482	0.479	0.476	0.473	0.470	0.467	0.464
0.400	0.482	0.479	0.476	0.473	0.470	0.467	0.464	0.461
0.450	0.479	0.476	0.472	0.469	0.466	0.462	0.459	0.456
0.500	0.474	0.470	0.466	0.462	0.459	0.455	0.450	0.447
0.550	0.468	0.464	0.459	0.454	0.450	0.445	0.441	0.436
0.600	0.461	0.456	0.451	0.446	0.441	0.436	0.431	0.426
0.650	0.454	0.449	0.444	0.439	0.434	0.429	0.424	0.419
0.6563	0.453	0.448	0.443	0.438	0.433	0.428	0.423	0.418
0.700	0.446	0.441	0.436	0.431	0.426	0.421	0.416	0.411
0.750	0.438	0.433	0.428	0.422	0.418	0.412	0.407	0.402
0.800	0.428	0.423	0.418	0.413	0.408	0.404	0.399	0.394
0.900	0.408	0.403	0.399	0.394	0.390	0.385	0.381	0.376
1.000	0.386	0.382	0.378	0.375	0.371	0.367	0.364	0.360
1.2	0.342	0.340	0.339	0.337	0.336	0.334	0.333	0.331
1.28	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322
1.4	0.295	0.296	0.298	0.299	0.301	0.302	0.304	0.305
1.6	0.259	0.262	0.265	0.268	0.271	0.274	0.277	0.280
1.8	0.222	0.228	0.234	0.239	0.245	0.251	0.256	0.262
2.0	0.186	0.195	0.204	0.213	0.222	0.231	0.239	0.248
2.2	0.160	0.171	0.182	0.192	0.203	0.214	0.225	0.236
2.4	0.142	0.154	0.165	0.177	0.188	0.200	0.212	0.223
2.6	0.129	0.141	0.152	0.164	0.176	0.187	0.199	0.211
2.8	0.119	0.131	0.142	0.154	0.165	0.177	0.189	0.200
3.0	0.112	0.123	0.134	0.146	0.157	0.169	0.180	0.191
3.4	0.100	0.111	0.122	0.134	0.145	0.156	0.167	0.178
3.8	0.091	0.102	0.113	0.124	0.135	0.146	0.157	0.168
4.2	0.082	0.093	0.104	0.115	0.126	0.137	0.148	0.159
4.6	0.079	0.090	0.100	0.111	0.121	0.131	0.142	0.152
5.0	0.078	0.088	0.098	0.108	0.117	0.127	0.136	0.146

真の温度 (K)	色温度 (K)	輝度温度 0.655 μm (K)	輻射温度 (K)	放射率 0.655 μm	放射率 0.467 μm	光束 発散率	色放射率	全放射率	標準輝度 (cd/cm^2)	全放射強度 (W/cm^2)
300	-	-	-	0.470	0.505	-	-	0.024	-	0.00110
400	-	-	-	0.468	0.501	-	-	0.034	-	0.00495
500	-	-	-	0.466	0.498	-	-	0.042	-	0.015
600	-	-	-	0.464	0.495	-	-	0.052	-	0.0385
700	-	-	-	0.462	0.492	-	-	0.062	-	0.0850
800	-	-	-	0.460	0.490	-	-	0.074	-	0.173
900	-	-	-	0.458	0.488	-	-	0.089	-	0.333
1000	1006	966	581	0.456	0.486	0.464	0.396	0.105	0.000126	0.600
1100	1108	1058	659	0.454	0.484	0.463	0.393	0.121	0.00107	1.01
1200	1210	1149	738	0.452	0.482	0.462	0.391	0.138	0.00631	1.63
1300	1312	1240	819	0.450	0.480	0.460	0.388	0.156	0.0276	2.54
1400	1414	1330	905	0.448	0.478	0.459	0.386	0.174	0.0104	3.82
1500	1517	1420	991	0.445	0.476	0.457	0.383	0.192	0.333	5.54
1600	1619	1502	1080	0.443	0.475	0.456	0.381	0.207	0.94	7.74
1700	1722	1597	1167	0.441	0.473	0.455	0.378	0.222	2.3	10.58
1800	1825	1684	1254	0.439	0.472	0.454	0.376	0.236	5.15	14.15
1900	1929	1771	1342	0.437	0.470	0.453	0.373	0.248	10.40	18.45
2000	2033	1857	1428	0.435	0.469	0.452	0.370	0.259	20.00	23.65
2100	2137	1943	1514	0.433	0.467	0.450	0.367	0.269	35.9	29.85
2200	2242	2026	1601	0.431	0.466	0.449	0.364	0.278	61.0	37.2
2300	2347	2109	1688	0.429	0.464	0.448	0.362	0.286	100.1	45.7
2400	2452	2192	1775	0.427	0.463	0.447	0.359	0.294	156.0	55.7
2500	2557	2274	1859	0.425	0.462	0.446	0.356	0.301	234.0	67.2
2600	2663	2356	1945	0.423	0.460	0.444	0.353	0.309	345	80.6
2700	2770	2437	2031	0.421	0.459	0.443	0.350	0.315	495	95.6
2800	2878	2516	2116	0.419	0.458	0.442	0.347	0.321	690	112.5
2900	2986	2595	2202	0.417	0.456	0.441	0.345	0.329	950	132.5
3000	3094	2673	2286	0.415	0.455	0.440	0.343	0.334	1270	154.5
3100	3202	2750	2371	0.413	0.454	0.438	0.341	0.337	1640	177.5
3200	3311	2827	2455	0.411	0.452	0.437	0.338	0.341	2105	203
3300	3422	2903	2538	0.409	0.451	0.436	0.335	0.344	2685	232
3400	3533	2978	2621	0.407	0.450	0.435	0.332	0.348	3370	264
3500	3646	3053	2704	0.405	0.449	0.434	0.329	0.351	4220	300
3655	3817	3165	-	0.402	0.447	0.433	0.324	0.354	5740	360

真の温度 (K)	蒸発率 (g/cm ² /sec)	蒸気圧 (bar)	比熱 (cal/g)	比抵抗 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
300	-	-	6.03	5.65
400	-	-	6.05	8.00
500	-	-	6.09	10.48
600	-	-	6.14	13.07
700	-	-	6.20	15.75
800	-	-	6.24	18.51
900	-	-	6.30	21.35
1000	-	-	6.36	24.26
1100	-	-	6.43	27.23
1200	-	-	6.52	30.26
1300	-	-	6.67	33.29
1400	-	-	6.80	36.37
1500	-	-	6.95	39.50
1600	-	-	7.10	42.67
1700	-	-	7.25	45.88
1800	-	-	7.40	49.12
1900	-	-	7.55	52.40
2000	1.75×10^{-1}	1.32×10^{-8}	7.70	55.71
2100	1.58×10^{-1}	1.22×10^{-8}	7.85	59.05
2200	1.25×10^{-1}	9.89×10^{-9}	8.00	62.42
2300	7.82×10^{-1}	6.32×10^{-8}	8.15	65.82
2400	4.36×10^{-1}	3.52×10^{-8}	8.30	69.25
2500	2.03×10^{-9}	1.71×10^{-8}	8.45	72.71
2600	8.79×10^{-9}	7.57×10^{-8}	8.60	76.20
2700	3.17×10^{-8}	2.77×10^{-8}	8.75	79.71
2800	1.12×10^{-7}	9.99×10^{-8}	8.90	83.25
2900	3.45×10^{-7}	3.18×10^{-8}	9.05	86.81
3000	9.69×10^{-7}	9.09×10^{-8}	9.20	90.40
3100	2.66×10^{-6}	2.51×10^{-8}	9.35	93.9
3200	6.67×10^{-6}	8.06×10^{-8}	9.50	97.4
3300	1.60×10^{-5}	1.55	9.65	101.1
3400	3.55×10^{-5}	3.49	9.80	104.9
3500	7.57×10^{-5}	7.55	9.95	108.5
3655	2.28×10^{-4}	23.3	10.18	114.2

3. 2 電子放射物質

電子放射定数及び関連した性質 -1

No.	物質名	$i = AT^2 \exp(-b_0/T)$		10^6	熱電子 eV	ϕ_0	沸点		融点 °C	密度 g/cm ³	2次電子 放射係数 (Max)	備考	出典
		A	b_0				°C	×1000K					
1	Ag	60.20	0	4.08	4.73-3.85	3.57	2,190	961	10.5				6
2	Al	1.40	0	3.77	3.57		2,450	659	2.699	1.9			6
3	Al ₂ O ₃	60.20	0	4.42	4.73		2,980	2,050	3.99				6
4	Au	2.50	0	3.44-1.66	4.82		2,700	1,063	19.3	1.14			6
5	BaO	5.93	0	3.93	4.4-4.0		1,627	271	8.55				6
6	Bi	60.20	0	3.02-4.82	4.82		4,200	3,700	2.25	1.5			6
7	C	25.70	0	2.24	2.70		1,482	851	1.54				6
8	Ca	1.65	-6	2.43	4.00		2,850	2,572	3.3				6
9	CaO	2.17	-2	4.06	4.25-4.12		3,100	1,492	8.9				6
10	CdO	65.00	0	4.38	4.5-4.1		2,580	1,083	8.9	1.3			6
11	Co	1.55	-8	1.76	1.90		670	29	6.4				6
12	Co ₂ O ₃	162.00	0	1.81	4.72-4.2		3,000	1,535	7.87	1.3			6
13	Cu	1.16	-2	3.82			44.3	1,565	5.24				6
14	CuO	14.50	0	3.53			41.0	2,220	13.29				6
15	CS				4.53		52.5	-39	14.2				6
16	Fe				2.25-1.76		760	63	0.897	0.7			6
17	Fe ₂ O ₃				2.9-2.1		2,507	1,785	0.534	0.5			6
18	Hf						41.7	650	1.74				6
19	Hg				3.60		33.1	3,600	3.65	2.4-4			6
20	K						51.3	2,610	10.22	1.3			6
21	Li	1.10	-5	4.41-3.48	3.19		880	99	0.97				6
22	Mg	60.20	0	2.28	4.33-3.22		32.1	2,850	8.9	1.3			6
23	MgO	9.10	-2	4.87	2.46-1.9		56.5	1,960	6.96				6
24	Mo	26.80	0	1.99	5.01-4.12		1,750	127	11.34				6
25	Na				4.1-3.5		3,980	1,552	12.02				6
26	Ni				4.96		4,530	1,769	21.45	1.6			6
27	NiO	1.70	6.3	6.27	3.00		700	39	1.532				6
28	Pb				2.2-1.8		53.1	4,500	12.44				6
29	Pd				4.57		53.1	1,960	2.26				6
30	Pt	5.00	0	4.58			53.1	1,670					6
31	Rb				4.58								6
32	Rh				4.58								6
33	SiO ₂				4.58								6

電子放射定数及び関連した性質 -2

$$i = A T^2 \exp(-b_0/T)$$

No.	物質名	A		10 [~]	熱電子 eV	φ ₀ 光電子 eV	b ₀ ×1000K *は計算値	沸点 °C	融点 °C	密度 g/cm ³	2次電子 放射係数 (Max)	備考	出典
		A/cm ² ·deg ²	A/cm ² ·deg ²										
33	Sn B					4.50	* 52.2						
34	Sn gammer					4.38	* 50.8						6
35	Sn liquid					4.21	* 48.8	2,260	232				6
36	SrO	6.90		0	1.99		23.1	2,430	2,430	4.7			6
37	Ta	60.20		0	4.18-4.07	3.92	47.2	6,100	2,996	16.6			6
38	Th	60.20		0	3.35	3.6-3.33	38.9	4,250	1,707	11.7			6
39	ThO ₂	1.60		-2	2.94		34.7	4,400	3,050	9.87			6
40	W	60.20		0	4.52-4.40	4.8-4.52	52.4	5,500	3,380	19.3	1.5		6
41	Zn				3.68-3.32		907	420	7.13				6
42	Zr	0.35		0	4.13		51.0	4,400	1,857	6.5			6
43	Sc				3.40		39.4	2,700	1,540	5.73			6
44	Ti						3,300	1,680	2.99				6
45	Sc ₂ O ₃				3.20		* 37.1	2,678	4.6				12
46	Y ₂ O ₃	0.55		0	2.00		* 23.2	2,693					12
47	La ₂ O ₃				2.80		* 32.5	2,573	6.18				12
48	Dy ₂ O ₃	0.96		0	2.10		* 24.3	2,658					12
49	Th-W	3.00		0									
50	BaBe ₂				2.90	3.40	* 33.6	2,270	2,270				7
51	LaBe ₂				2.47	2.3-2.6	* 28.6	2,210	2,210				7
52	CeBe ₂				2.26	2.50	* 26.2	2,190	2,190				7
53	SmBe ₂				3.14	4.30	* 36.4						7
54													
55	TrN	120.40			2.92		* 33.8	2,950	2,950				8
56	ZrN	120.40			2.92	4.30	* 33.8	4,300	2,980				8
57	NbN				3.92		* 45.4	2,573	2,573				8
58	AgN ₃				4.90		* 56.8	252	252				8
59													8
60	ThN					3.10	* 35.9						8
61	UN				3.10		* 35.9					W線上粉末	8
62	DyBe ₂	25.10		0	3.53		* 40.9						13
63	MoC	23.00		0	3.54		* 41.0	2,700					14
64	TiC	99.00		0	4.09		* 47.4	3,070					14
65	ZrC	41.00		0	4.22		* 48.9	2,973					14
66	5BaO, 2Al ₂ O ₃	1.80		0	1.70		* 19.7	3,453					9
67	5BaO, 2Al ₂ O ₃ , 3CaO	2.50		0	1.67		* 19.4	3,813					9
68	Ba ₂ Mo ₃	3.39		-3	1.02		* 11.8						10
69	Ba ₂ CaMo ₃	1.35		-3	1.33		* 15.4						10
70	3BaO, 2Sc ₂ O ₃				1.28		* 14.8						10

3.3 出典

1. 理化学辞典 岩波書店
2. タングステン・モリブデン技術資料 タングステン・モリブデン工業会
3. Stephen W.H.Yih, Chun T.Wang
Tungsten Sources, Metallurgy, Properties and Applications
4. Walter H.Kohl, Materials and Techniques for Electron tubes
5. 理科年表 国立天文台
6. A.L.HUGHES and L.A.DUBBRIDGE "Photoelectric Phenomena",
McGraw-Hill Book company, inc., New York, (1932)
S.DUSHMAN, Rev. Mod. Phys, 2, 381, (1930)
7. 中村勝吾 : 電子放射と表面物性, 真空 第20巻 第1号(1977)
8. 平林正之 : 遷移金属窒化物の熱電子放射性, 同上
9. P.P.Coppola et al., Proc IRE, 44, 351(1956)
10. B.V.Bondarenko et al., Radiotekhnika i elektronika, 5, 1553, (1960)
11. R.Levi, Philips Tech. Rev., 19, 186(1957/58)
12. B.S.Kulivarskaia et al., Radiotekhnika i elektronika 5 [8] 1254(1960)
13. V.S.Fomenko, Handbook of Thermionic Properties, Prentice Hall Data Div. (1966)
14. J.H.Ingold, J. Appl. phys., 34 (7) 2033(1963)
15. 化学便覧・基礎編 日本化学学会編, 丸善(一部の融点の値に対して)

データベースの試行検討として始めたため、対象物質及び対象特性に限界があり、実際のデータベースとしては大変不満が残る結果となった。例えば電子放射物質の性質としては蒸気圧が重要なものの1つであるが、時間の関係上収集できなかった。

同一特性に対する複数の文献による複数データの取り扱いも今後の課題の1つであろう。

1. 化学変遷・基礎編 日本化学会編、丸善(一部)の編点の値に対して

2. A. L. HUGHES and I. A. DUBELIGE "Photoelectric Phenomena", McGraw-Hill Book company, inc. New York (1932)

3. DUBSHAN, Rev. Mod. Phys. 2, 381 (1930)

4. 中村謙吾 : 電子放射と表面特性, 真空, 第20巻, 第1号(1977)

5. 平林正文 : 電子放射と表面特性, 同上

6. F. P. COPPOLA et al., Proc. IRE, 44, 351 (1956)

7. B. V. BONDARENKO et al., Radiotekhnika i elektronika, 5, 1553 (1960)

8. R. LEVI, Philips Tech. Rev., 18, 188 (1957/58)

9. B. S. KELIVARSKA et al., Radiotekhnika i elektronika 5 [8] 1251 (1960)

10. V. S. KOMENKO Handbook of Thermionic Properties, Plenum Press Data Div. (1966)

11. J. H. LANGOLF, J. Appl. Phys., 34 (7) 2033 (1963)

〈光源システム関連情報研究調査委員会報告書〉

点灯回路に関する文献情報

目 次

1-0	点灯回路に関する文献情報	1-0
1-0	点灯回路に関する文献情報	2-0
1-0	点灯回路に関する文献情報	3-0
2-0	点灯回路に関する文献情報	4-0
3-0	点灯回路に関する文献情報	5-0
3-0	点灯回路に関する文献情報	6-0
4-0	点灯回路に関する文献情報	7-0
5-0	点灯回路に関する文献情報	8-0
6-0	点灯回路に関する文献情報	9-0
8-0	点灯回路に関する文献情報	10-0

6. 点灯回路に関する文献情報

1993. 3. 23

光源システム関連情報研究調査委員会

文献情報班

6. 点灯回路に関する文献情報

目 次

6-1	文献情報班編成のいきさつ	6-1
6-2	回路関係データベース化の考え方	6-1
6-3	回路関係データベース化の範囲	6-1
6-4	データベース化におけるキーワードの扱い	6-2
6-5	データの出力方法	6-3
6-6	データベース化の方法	6-3
6-7	第1ステップのデータベース内容	6-4
6-8	第2ステップのデータベース内容	6-22
6-9	第3ステップのデータベース内容	6-25
6-10	今後の検討課題	6-28

1983.3.23

会員委員会事務局庶務課△マス△電光

庶務課論文

6-1 文献情報班編成のいきさつ

回路関係の必要情報は文献情報になると考え、文献情報班を編成した。なお文献情報は回路関係に限らず、全範囲に渡るが能力的限界もあるので、対象を回路関係のみに絞りデータベース化を実施することとした。

6-2 回路関係データベース化の考え方

理想としては、光源システム関連の回路関係文献情報がJICST等の大きなデータベースを利用せずとも、端末からキーワード検索で簡単に取り出せ、後述する目的に利用されることが望ましいが、回路だけでこのようなシステムを構築しても利用価値が低い。むしろ、既設の文献情報委員会でのデータベース化検討の一部と考え、この委員会との連動が不可欠と思われる。

今回検討した内容・収集資料は一部パソコンのデータベースソフトにより検索できるものもあるが、とりあえず最新の文献まで調査し、そのリストアップまでを行ない、今後この資料が活かされるよう文献情報委員会のメンバーと調整を行なった。

6-3 回路関係データベース化の範囲

データベース化（対象文献の調査）の範囲は、次の3つのステップで考えることとした。

第1ステップ

以下に示す、回路に関する委員会報告でリストアップされた文献のデータベース化を実施した。

- (1) 電気学会技術報告（Ⅱ部）第172号
「最近の放電灯安定器とその動向」（昭和59年8月）
（文献調査範囲 ～昭和57年6月）
- (2) JIER-009
「電子点灯回路の実用化研究調査報告書」（昭和62年7月）
（文献調査範囲 昭和58年7月～昭和61年8月）
- (3) JIER-015
「電子化適合光源技術研究調査報告書」（平成元年5月）
（文献調査範囲 昭和61年9月～昭和63年12月）

第2ステップ

第1ステップ以降の照明学会関連論文（全国大会）については、学術情報センターに全て登録されており、文献情報委員会を通じて、これらをオンラインによりダウンロードできるよう調整いただいた。

第3ステップ

第1ステップ(3)以降(平成元年以降)の文献については、学術情報センター登録の照明学会全国大会以外未調査であり、これらの範囲について調査し、文献整理を実施した。

6-4 データベース化におけるキーワードの扱い

データベースを利用する場合、回路技術者が利用する主な目的として

- (1) 回路技術者のレベルアップ(教育含む)
- (2) 研究開発時のアイデアの手助け
- (3) 動向調査
- (4) 学会発表の参考文献調査

などがあげられる。

このような目的の場合、標題、著者、年代以外のもう少し細かな照明独自の特性・機能をキーワードとして検索できることが好ましい。

例えば

ランプ種類	ランプ特性	回路機能	点灯方式
1. 蛍光灯	1. ランプ寿命	1. 雑音	1. 商用
2. HID	2. チラツキ	2. ロス・効率	2. ハイブリッド
3. 白熱灯	3. 移動縞	3. 高調波	3. 高周波
4. その他	4. 音響共鳴	4. 騒音	4. 直流
	5. 調光特性	5. 始動	5. 短形波
	6. ランプ基本特性	6. 調光方式	6. 重量
	7. ランプモデル	7. 異常保護	7. 無電極
	e t c	8. 信頼性	8. スタータ
		9. 電子部品	e t c
		10. 可変色	
		11. ランプ寿命改善	
		12. 定色温度	
		13. 定電力	
		14. 高出力	
		15. システム	
		16. 回路解析	
		e t c	

などである。

前述のデータベース化範囲の第1ステップでは、文献の情報はキーワード登録されていないため、論文の標題をキーワードとすることにした。

第2ステップの学術情報センター登録分は、独自（論文発表者が作成）のキーワードが登録されているので活用が可能である。

第3ステップについては、今後の課題とした。

6-5 データの出力方法

本委員会では、先に述べた3ステップの情報につきデータベース化を図ることとした。これらの情報を横断的に整理し、データベース化する目的から、出力項目は下記のとおりとした。

- (1) 文献の標題名
- (2) 著者名
- (3) 著者の所属するメーカー名、研究機関名
- (4) 発表された年度
- (5) 雑誌名、会名

なお、出力項目としては、この他にも、抄録や代表図面（回路図、特性図など）が考えられるが、抄録については第1ステップに掲げた文献情報に記載の無いことから今回は取扱わないこととした。また代表図面についても想定している環境がパソコンレベルでありメモリー容量に制限があるので、やはり取扱わないこととした。

6-6 データベース化の方法

第1ステップの対象となる文献情報は約1000件である。当初、これらをデータベース用汎用ソフトであるd B X Lに入力した。d B X Lに入力したデータは、他の汎用ソフトであるdata Box用のデータとして変換可能である。常設の文献情報委員会では、data Boxを活用しているので、情報の整合を取ることが出来た。

第2ステップの学術情報センター登録分については、データを汎用性のあるテキストファイル形式により提出を受け、活用することにした。

第3ステップの情報については、調査できる範囲で収集を行ない整理した。本委員会の活動終了後の分については、文献情報調査委員会にお願いすることとした。

6-7 第1ステップのデータベース内容

dbXLに入力されている実際のデータを例にとり操作方法並びに出力内容を説明する。

6-7-1 構成

本章の内容の構成を以下に示す。

6-7-2 dbXLの起動とファイルのオープン

6-7-3 dbXLの終了

6-7-4 レコードの表示による利用の方法

(1) BROWSによる方法

(2) DISPLAYによる方法

(3) LISTによる方法

6-7-5 インデックスによる利用

6-7-6 検索による利用

(1) LOCATEによる方法

(2) SEEKによる方法

(3) FINDによる方法

(4) フィルタを使う (条件式)

(5) フィルタを使う (クエリーファイル)

6-7-2 dbXLの起動とファイルのオープン

dbXLディスクをドライブA、データディスクをBに入れる。

操作: A > DBXL (dbXLの起動)

表示: XL [1] >

操作: USE B:N01234 (データベースファイルのオープン)

表示: XL [1] > USE B:N01234

XL [1] N01234 >

データベースはこの状態 (ファイルをオープンした状態) から

(1) レコードの表示 (2) インデックス (3) 検索を行うことにより利用できる。

6-7-3 dbXLの終了

利用後は次の操作を行う。

操作: CLOSE ALL (ファイルを閉じる)

QUIT

表示: XL [1] NO1234 > CLOSE ALL

XL [1] > QUIT

db XLを終了しEOSの画面となる。

コード	区分
0001	01
0002	10
0003	01
0004	01
0005	01
0006	01
0007	10
0008	01
0009	10
0010	01
0011	01
0012	01
0013	01
0014	01
0015	01
0016	01

BROWSE (A:)>|NO1234.DBF |Rec: 1/1123 |Incl |Capa

図 6.1

6-7-4 レコードの表示

(パターン1) …… BROWSEを使う

文法: BROWSE [FIELDS <フィールドリスト>] [LOOK <数値式>] [FREEZE <フィールド>]
[WIDTH <数値式>] [NOAPPEND] [NOFOLLOW] [NOMENU] [NO MODIFY]

BROWSEコマンドでレコードを表示する場合には、データベースファイルをオープンしてある状態に、

BROWSE

と入力すればよい。すると、図6.1の様に表示される。

```
コード 分類-  
0001 01  
0002 01  
0003 01  
0004 01  
0005 01  
0006 01  
0007 01  
0008 01  
0009 01  
0010 01  
0011 01  
0012 01  
0013 01  
0014 01  
0015 01  
0016 01
```

BROWSE |<A:>|NO1234.DBF

|Rec: 1/1123

|Ins| |Caps

図6.1

BROWSE画面では、次のキーが使える。

- CTRL+B 1フィールド分、画面を右へ移動する。
(CTRL←を押しながらBを押す)
- CTRL+Z 1フィールド分、画面を左に移動する。
- CTRL+F カーソルを右のフィールドへ移動する。
- CTRL+A カーソルを左のフィールドへ移動する。
- CTRL+D (→ ←でも同じ) カーソルを1文字右へ移動する。
- CTRL+S (←) カーソルを1文字左へ移動する。
- CTRL+E (↑) カーソルを1行上のレコードへ移動する。
- CTRL+X (↓) カーソルを1行下のレコードへ移動する。
- CTRL+R (ROLL UP) 前の17個のレコードを表示する。
- CTRL+C (ROLL DOWN) 次の17個のレコードを表示する。
- ESC← メニューを表示する。

BROWSE画面を終了するには、ESCキーを押すとメニューウィンドウが表示されるので、カーソルキーを使って[Q 終了]を反転表示してリターンキーを押す。

一度に多くのフィールドを表示したいときには、オプションのWIDTHを使って表示するフィールドの長さを短くする。例えば、フィールドの長さを10としたい場合は、

BROWSE WIDTH,10 

と入力すれば、図6.2の様にフィールドの長さが10となり、一度に9個のフィールドを見ることができるようになる。(WIDTHで使える数値式の値は1~99である。)

コード	分類	著者	表題	種別	雑誌名	会名	年	月
0001	01	Elenbass, W	Fluorescen	T			1959	
0002	01	Elenbass, W	High Press	T			1965	
0003	01	Waymouth, J	Electrical	T			1971	
0004	01	Elenbass, W	Light Sour	T			1972	
0005	01	Cobline, J.D	Gaseous Co	T			1958	
0006	01	Henderson,	Lamps and	T			1972	
0007	01	Kaufman, J.	IES Lightl	T				
0008	01	照明学会編	照明のデ	T			1962	
0009	01	照明学会編	照明ハン	T			1978	
0010	01	原田	蛍光灯取	T			1965	
0011	01	大谷 他	電気学会	T			1978	
0012	01		照明を生	T			1971	
0013	01		点灯回と	T			1976	
0014	01		光源とそ	T			1981	
0015	01	内田	最新・蛍	T			1957	
0016	01	山内	照明用放	T			1939	

BROWSE |<A:>|NO1234.DBF |Rec: 1/1123 |Ins| |Caps

図6.2

また、オプションの FIELDS を使えば必要なフィールドだけを好きな順序で表示することができる。例えば、コード、年、月、種別、分類の5つのフィールドをこの順序で表示したい場合、次のように入力すればよい。

BROWSE FIELDS コード, 年, 月, 種別, 分類
 すると、図6.3のようにフィールドを限定し、順序を変えることができる。

コード	年	月	種別	分類
0001	1959		T	01
0002	1965		T	01
0003	1971		T	01
0004	1972		T	01
0005	1958		T	01
0006	1972		T	01
0007			T	01
0008	1962		T	01
0009	1978		T	01
0010	1965		T	01
0011	1978		T	01
0012	1971		T	01
0013	1976		T	01
0014	1981		T	01
0015	1957		T	01
0016	1939		T	01

BROWSE |<A:>|NO1234.DBF |Rec: 1/1123 |Ins| |Caps

図6.3

さらに、いくつかのオプションを同時に使うことができる。例えば、

BROWSE FIELDS コード, 著者, 表題, 年 WIDTH 20
 と入力すれば、図6.4の様にフィールドの長さが20で、コード、著者、表題、年の4つだけが表示される。

コード	著者	表題	年
0001	Elenbass, W., Ed.	Fluorescent Lamps an	1959
0002	Elenbass, W., Ed.	High Pressure Mercur	1965
0003	Waymouth, J.F.	Electrical Discharge	1971
0004	Elenbass, W.	Light Sources	1972
0005	Cobine, J.D.	Gaseous Conductors,	1958
0006	Henderson, S.T., Mars	Lamps and Lighting -	1972
0007	Kaufman, J.E., Ed.	IES Lighting Hand Bo	
0008	照明学会編	照明のデータブック	1962
0009	照明学会編	照明ハンドブック	1978
0010	原田	蛍光灯取扱の実験	1965
0011	大谷他	電気学会大学講座 照	1978
0012		照明を生かすエレクト	1971
0013		点灯回路の知識	1976
0014		光源とその応用	1981
0015	内田	最新・蛍光灯と照明	1957
0016	山内	照明用放電管	1939

BROWSE |<A:>|NO1234.DBF |Rec: 1/1123 |Ins| |Caps

図6.4

【注意】 BROWSE コマンドはレコードの表示だけでなく編集に使うコマンドでもある。そのため、表示の際、誤って書き換えてしまうことが考えられるので、レコードの表示だけが目的の場合はオプションの NO MODIFY を付けることを勧める。

例： BROWSE FIELDS コード，著者，表題，年 WIDTH 20 NO MODIFY

(パターン2) …… DISPLAY を使う

文法： DISPLAY [OFF] [<適用範囲>] [<式のリスト>] [WHILE <条件式1>]
[FOR <条件式2>] [TO PRINT]

DISPLAY コマンドでレコードを表示する場合、データベースをオープンしてある状態で、

DISPLAY と入力すればよい。すると図6.5の様に表示される。

XL [1] NO1234> DISPLAY

レコード番号コード 分類 著者

表題

種別 雑誌名

会名	年	月	言語	出版元	ページ	版数	備考
		Vol.	No.	SERN			
1 0001	01			Elenbass, W., Ed.			Fluorescent
Lamps and Lighting							T
en, Holland	1959		E	N.V. Philips' Gloeilampenfabriken, Eindhoven,			

XL [1] NO1234>

図6.5

この様に、オプションのない DISPLAY は、レコードポインタのある現在のレコードを表示する。

オプションの <式のリスト> を使うと指定したフィールドだけを表示できる。例えば、

DISPLAY 著者，表題

と入力すれば、図6.6の様に著者と表題だけが表示される。この場合も現在のレコードだけの表示である。

XL [1] NO1234> DISPLAY 著者, 表題
レコード番号著者

1 Elenbass, W., Ed.

Fluorescent Lamps and Lig

hting

XL [1] NO1234>

図6. 6

また、オプションの〈適用範囲〉、WHILE、FORを使うと表示するレコードを限定できる。例えば、FORを使って1980年のものだけを表示する場合、次のように入力する。

DISPLAY FOR 年="1980"

すると、図6. 7の様に条件に合うものだけが表示される。また、--MORE--という表示は続きがあることを表している。この様に、DISPLAYは画面がいっぱいになると--MORE--を表示して一時停止する。続きを見るには次の3通りの方法がある。

- ①リターンキーを押すと次にいっぱいになるまで表示する。
- ②スペースキーを押すと1行スクロールする。
- ③数字を押すとその行だけスクロールする。

さらに、オプションを組み合わせれば、色々な表示ができる。

レコード番号コード 分類 著者

レコード番号	コード	分類	著者	種別	雑誌名
19 0019	01	年	1980	言語	出版元
		月	064	版数	備考
		Vol.	003		
		No.			
		SERN			
		ページ			
23 0023	01	野村, 青地			「光源と点灯
					」 照字誌
					点灯回路と安

図6. 7

照学誌

1990

1120 異相への遠赤外照射に関する基礎的研究

照学誌

1990

1121 赤外放射の生体への作用と赤外放射利用暖房器

照学誌

1990

1122 遠赤外放射の水に対する浸透深さ

照学誌

1990

1123 遠赤外放射の食品工業への利用の現状と将来

照学誌

1990

XL [1] NO1234>

図 6. 9

785 0785 09 Helle, Energiebremse. Langzeitlamp
e Mit Elektronischem Vorschaltgerat J Elektr
. Energ. Tech.

1988 D 033 003 pp.52-54

794 0794 10 Schwarz, A. Holograhie D
ie Neue Magle der Buhne J Maschi
nenmarkt

1987 D 093 010 pp.95-102

XL [1] NO1234>

図 6. 10

6-7-5 インデックス

インデックスするためには次の2つを行う。

①インデックスファイルを作成する。

文法: INDEX ON <キー表現式> TO <ファイル名>

②インデックスファイルをオープンする。

文法: SET INDEX TO <ファイル名>

例えば、年でインデックスしたい場合には、USEコマンドでデータベースファイルをオープンした後に、

INDEX ON 年 TO IDX

と入力し、さらに、

SET INDEX TO IDX

と入力すればよい。(図6.11)

XL [1] NO1234 > INDEX ON 年 TO IDX

100% インデックスしました。 1123 レコードインデックスしました。

XL [1] NO1234 > SET INDEX TO IDX

XL [1] NO1234 >

図6.11

BROWSE FIELDS コード,年

と入力してみると、図6.12の様に表示され、年でインデックスされていることがわかる。

コード 年-----

0007	
0026	
0069	
0098	
0103	
0137	
0166	
0284	
0108	1937
0016	1939
0109	1939
0134	1941
0110	1948
0135	1948
0201	1952
0258	1952

BROWSE |<A:>|NO1234.DBF /IDX.NDX |Rec: 7/1123 |Insl |Caps

図6.12

また、複合の〈キー表現式〉を使うこともできる。例えば、

```
INDEX ON 年+月 TO IDX2
```

```
SET INDEX TO IDX2
```

と入力すれば、まず年で順序付けし、さらに年の同じものを月で順序付けすることができる。

```
BROWSE FIELDS コード, 年, 月
```

と入力して、レコードを表示してみると図6. 13の様に年月で並んでいることがわかる。

コード	年	月
0109	1939	
0134	1941	05
0110	1948	
0135	1948	02
0258	1952	01
0269	1952	01
0201	1952	11
0136	1953	02
0111	1953	12
0231	1954	01
0270	1954	07
0163	1955	
0293	1955	
0289	1955	06
0159	1956	
0271	1956	

```
BROWSE      |<A:>|NO1234.DBF /IDX2.NDX      |Rec: 159/1123      |Ins| |Caps
```

図6. 13

6-7-6 検索

(パターン1) ……LOCATEを使う

【手順】

① USEコマンドでデータベースファイルをオープンした後に、

```
LOCATE FOR <条件式>
```

を入力する。(適合するものが見つかればレコード番号を返し、見つからない場合は、「ファイルの終わりを超えました。」と返してくる。)

② DISPLAY、LIST、BROWSEなどのコマンドを用いてレコードを表示する。

③ 条件に適合する次のレコードを探すときは、

```
CONTINUE
```

と入力する。

④ ②に戻りレコードを表示する。

【例】雑誌名が東芝レビューのものを探す場合

① LOCATE FOR 雑誌名="東芝レビュー"

と入力する。すると、図6. 14の様に返してくる。

```
XL [1] N01234 > LOCATE FOR 雑誌名="東芝レビュー"
レコード = 28
XL [1] N01234 >
```

図 6. 1 4

② DISPLAY

と入力する。すると、図 6. 1 5 の様にレコードが表示される。(ここでは、DIS
PLAYを用いた。LISTやBROWSEで表示する場合は6-7-4レコード
の表示を参照)

```
レコード = 28
XL [1] N01234 > DISPLAY
レコード番号コード 分類 著者
```

会社名	年	月	頁数	出版元	SERN	ページ	版数	備考
28 0028	01			立原, 青池				
1977		035	008			pp.736-739		

```
XL [1] N01234 >
```

図 6. 1 5

③ 次のレコードを探すならば、

CONTINUE

と入力する (図 6. 1 6)。

```
XL [1] N01234 > CONTINUE
レコード = 36
XL [1] N01234 >
```

図 6. 1 6

④ ②と同様にしてレコードを表示。

⑤ ③、④を繰り返し行い、CONTINUEを実行した後、図 6. 1 7 の様に「ファイ
ルの終わりを超えました」と、返してくれば条件に適合する全てのレコードを見たこ
とになる。

XL [1] N01234 > CONTINUE
ファイルの終わりを超えました。
XL [1] N01234 >

図6.17

(パターン2) …… SEEKを用いる方法

【手順】

- ① USEコマンドでデータベースファイルをオープンした後、検索に使うフィールドでインデックスするために、

```
INDEX ON <キー表現式> TO <ファイル名>
```

と入力し、さらに

```
SET INDEX TO <ファイル名>
```

と入力する。

- ② SEEK “文字列”

と入力する。(適合するものが見つかって何も返さず、見つからなかった時に「キが見つかりません。」と返す。)

- ③ DISPLAY、LIST、BROWSEなどのコマンドを用いてレコードを表示する。

- ④条件に適合するレコードが他にあるか見るときは、

```
SKIP
```

と入力し、次のレコードにポインタを移す。

- ⑤レコードを表示して、条件に適合しているか調べる。

- ⑥④、⑤を繰り返すことにより、適合する全てのレコードを見ることが出来る。

【例】年が1982のものを探する場合

- ①年でインデックスする為に、

```
INDEX ON 年 TO TOSHI
```

と入力し、さらに、

```
SET INDEX TO TOSHI
```

と入力する。

- ②1982年のレコードを探すのだから

```
SEEK “1982”
```

と入力。

- ③ DISPLAY

と入力してレコードを表示する(図6.18)。

XL [1] NO1234 > SEEK "1982"
 XL [1] NO1234 > DISPLAY
 レコード番号コード 分類 著者

表題

種別 雑誌名

会名 年 月 言語 出版元
 V o l . N o . SERN ページ 版数 備考

24 0024 01 板谷 雑誌「低圧放電の発光現象」

照学光源関連装置研究会 LS-82-26
 1982 11 J

XL [1] NO1234 >

図 6. 18

④ SKIP

と入力して次のレコードにポインタを移動する (図 6. 19)。

XL [1] NO1234 > SKIP

レコード番号 40

XL [1] NO1234 >

図 6. 19

⑤④と同様に、DISPLAY と入力し、表示したレコードが条件に適合しているか調べる。この例では、適合している (図 6. 20)。

XL [1] NO1234 > DISPLAY
 レコード番号コード 分類 著者

表題

種別 雑誌名

会名 年 月 言語 出版元
 V o l . N o . SERN ページ 版数 備考

40 0040 01 省エネルギー
 照明技術に関する調査研究

会関西支部研究報告書

1982

J

pp.13-19

XL [1] NO1234 >

図 6. 20

- ⑥④、⑤を繰り返し行い、条件が適合しなくなるか、ファイルの終わりまで行けば条件に適合する全てのレコードを見たことになる。

(パターン3) …… FINDを用いる方法

【手順】

- ① USEコマンドでデータベースファイルをオープンした後、検索に使うフィールドでインデックスするために、

```
INDEX ON <キー表現式> TO <ファイル名> 
```

と入力し、さらに

```
SET INDEX TO <ファイル名> 
```

と入力する。

- ② FIND <文字列>

と入力する。(適合するものが見つかって何も返さず、見つからなかった時に「キが見つかりません。」と返す。)

- ③ DISPLAY、LIST、BROWSEなどのコマンドを用いてレコードを表示する。

- ④条件に適合するレコードが他にあるか見るときは、

```
SKIP 
```

と入力し、次のレコードにポインタを移す。

- ⑤レコードを表示して、条件に適合しているか調べる。

- ⑥④、⑤を繰り返すことにより、適合する全てのレコードを見ることができる。

【例】会名が昭和58年照学全大のものを探する場合

- ①会名でインデックスするために、

```
INDEX ON 会名 TO KAIMEI 
```

と入力し、さらに、

```
SET INDEX TO KAIMEI 
```

と入力する。

- ②照学全大のレコードを探すのだから

```
FIND 昭和58年照学全大 
```

と入力。

- ③レコードを表示するために

```
DISPLAY 
```

と入力。

- ④ SKIP

と入力して、次のレコードにポインタを移動する。

- ⑤③と同様に、 DISPLAY と入力し、表示したレコードが条件に適合しているか調べる。

- ⑥④、⑤を繰り返し行い、条件が適合しなくなるか、ファイルの終わりまで行けば条件に適合する全てのレコードを見たことになる。

(パターン4) ……フィルタを使う1 (条件式)

【手順】

① USE コマンドでデータベースファイルをオープンした後に、

SET FILTER TO <条件式>

を入力する。

② BROWSE コマンドなどでレコードを表示する。

【例】 著者に大谷を含むものを探す場合

① SET FILTER TO “大谷”\$著者

と入力する。

② レコードを表示するために

BROWSE FIELDS 著者

と入力。すると、図6.21の様な画面となり、条件に合うものだけを見ることができ。

(ここでは、レコードの表示にBROWSEを用いた。他の表示方法については、6-7-4 レコード表示を参照。)

著者

大谷 徳

大谷 徳

松田, 大谷, 板谷,

大谷, 折笠, 馬場, 加茂部

中川 晴夫, 大谷 文雄

大谷 勝也

中川 晴夫, 大谷 文雄, 谷 治 環

中川 晴夫, 大谷 文雄, 原 正 史, 勝 部 昭 明, 谷 治 環, 安 達 伸 雄, 相 原 清

BROWSE I(A:>)NO1234.DBF

!Rec: 11/1123

!Insl |Caps

図6.21

(パターン5) ……フィルタを使う2 (クエリーファイル)

【手順】

① まず、クエリーファイルを作成しなければならない。このクエリーファイルを作るために、USE コマンドでデータベースファイルをオープンした後、

CREATE QUERY <ファイル名>

を入力する。すると、CREATE QUERY画面となる。

- ②カーソルキーでメニューから [C 作成] を選んでリターンキーを押すか、C を押す。
フィールド、演算子、定数、連結子の順に入力していき、条件式の作成が終わったら、
メニューから [Q 終了] を選ぶ。すると、[S セーブして終了] か、[A セーブしな
いで終了] するかを聞いてくるので、[S セーブして終了] を選ぶ。

これで、クエリーファイルの作成は終わりである。

- ③ SET FILTER TO FILE <ファイル名>

を入力する。

- ④ BROWSE コマンドなどでレコードを表示する。

- ⑤ 条件式を変えて検索を続ける場合は、

MODIFY QUERY <ファイル名>

を入力すると、CREATE QUERY コマンドを入力したときと同じ画面になるので、この
画面で条件式を変更する。

そして、③、④を行えば変更した条件に合うレコードを表示できる。

【参考】②で終了せずにメニューから [D 表示] を選択すれば、③、④、⑤を行わずに条
件に合うレコードを表示できる。

【例】表題に「蛍光灯」を含む照学誌以外のものを探したい場合

- ① CREATE QUERY FILT

と入力する。すると、図6.22の様なCREATE QUERY画面になる。

dbXL QUERY					
C 作成	E 変更	N カッコ	R 削除	D 表示	Q 終了
クエリー・ファイルを作成します。					

行	フィールド	演算子	定数	連結子
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

選択したい項目にカーソルを移動してリターンキーを押すか、最初の英字を押します。

図6.22

②画面上部のメニューから、カーソルキーで[C 作成]を選び反転表示させてリターンキーを押す。すると、フィールドリストが表示されるので、この中から[表題]を選ぶ。続いて演算子のリストが表示されるので[* を含む]を選ぶ。次に、定数式の入力となるので“蛍光灯”と入力する。最後に連結子のリストが表示される(図6.23)ので、[.AND..NOT.との組合せ]を選択する。

すると、再びフィールドリストが表示されるので[雑誌名]を選び、続いて演算子は[= 一致する]を選び、定数に“照学誌”と入力し、連結子で[終了する]を選ぶ。すると、メニューウィンドウに戻るので、[Q 終了]を選択する。[S セーブして終了]と[A セーブせずに終了]の二つのオプションが現れるので[S セーブして終了]を選択する。するとクエリファイル名が表示されるので、リターンキーを押す。これで、クエリファイルの作成は終わりである。

③ SET FILTER TO FILE FILT
と入力する。

④ BROWSE FIELD 表題, 雑誌名 WIDTH 30
と入力すれば図6.24の様な形で条件に合うレコードが表示される。

⑤条件式を変更したい場合は、

MODIFY QUERY FILT

と入力する。すると、CREATE QUERY画面と同じ画面が表示されるので、メニューウィンドウから[E 変更]を選択すれば条件文のどこでも好きなところを変更できる。

dbXL QUERY				
C 作成	E 変更	N カッコ	R 削除	D 表示
クエリ・ファイルを作成します。				
Fields				
コード	演算子		定数式の入力:	
分類	=	一致する	"蛍光灯"	
著者	<>	一致しない	終了する	
表題	で	始まる	.AND. との組み合わせ	
種別	で	始まらない	.OR. との組み合わせ	
雑誌名	で	終わる	.AND. .NOT. との組み合わせ	
会名	で	終わらない	.OR. .NOT. との組み合わせ	
	*	を含む		
行	フィールド		定数	
1	表題	を含む	"蛍光灯"	
2				
3				
4				
5				
6				
7				

連結子の選択

図6.23

(1)

ACCN : 000002212
TITL : HIDランプ点灯用1MHz高周波インバ-タの動作シミュレーション
TITE : Analysis of the 1MHz High-Frequency Inverter for HID lamp Operation
AUTH1 : 中西 宣一郎
AUTY1 : ナカニシ センイチロウ
AUTE1 : Nakanishi, Sen-ichiro
AFFN1 : 岡山大学
AFFY1 : オカヤマ ヲイガク
AFFE1 : Okayama University
AUTH2 : 横山 隆久
AUTY2 : ヨコヤマ タカヒサ
AUTE2 : Yokoyama, Takahisa
AFFN2 : 岡山大学
AFFY2 : オカヤマ ヲイガク
AFFE2 : Okayama University
AUTH3 : 藤澤 智雄
AUTY3 : フジサワ トモオ
AUTE3 : Fujisawa, Tomoo
AFFN3 : 岡山大学
AFFY3 : オカヤマ ヲイガク
AFFE3 : Okayama University
CONF : 平成元年電気学会全国大会一般講演
CNFP : 愛媛大学工学部
CNFD : 1989. 04. 04 - 1989. 04. 06
HOST1 : 電気学会
HSTY1 : デンキガカイ
LECN : 519
ABST : 筆者らは高効率でのHIDランプの高周波点灯の可能性をさぐるため、1MHz高周波インバ-タの動作シミュレーションを行った。その結果、 P-MOS-FET の詳細なモデルを用いたインバ-タの等価回路の計算結果は実験結果と比較的よく一致した。また、 P-MOS-FET の時の波形の振動もドレイン-ソース間容量が原因であることを明らかにした。次に、 P-MOS-FET でのスイッチング損失を求め、損失の大部分はFETのON抵抗によることを解明した。

KYWD : 高周波インバ-タ // P-MOS-FET // HIDランプ
KYWE : High-Frequency Inverter // Power MOS-FET // HID Lamp
CFID : 0001018901
RECN : 0519

図6. 25

(1)

ACCN : 000007017

TITL : メタルハライドランプの階段波点灯と分光分布特性

TITE : Characteristics of Metal Halide Lamp operated by Two Stepped Wave Power

AUTH1 : 甲斐 誠

AUTY1 : カイ マコト

AUTE1 : Kai, Makoto

AFFN1 : 同志社大学

AFFY1 : トウシヤダイガク

AFFE1 : Doshisha University

AUTH2 : 木部 泰樹

AUTY2 : キベ タイキ

AUTE2 : Kibe, Taiki

AFFN2 : 同志社大学

AFFY2 : トウシヤダイガク

AFFE2 : Doshisha University

AUTH3 : 富田 浩二

AUTY3 : トミタ コウジ

AUTE3 : Tomita, Kouji

AFFN3 : 同志社大学

AFFY3 : トウシヤダイガク

AFFE3 : Doshisha University

AUTH4 : 藤田 一郎

AUTY4 : フジタ イチロウ

AUTE4 : Fujita, Ichirou

AFFN4 : 同志社大学

AFFY4 : トウシヤダイガク

AFFE4 : Doshisha University

CONF : 平成4年電気学会全国大会

CNFE : National Convention

CNFN : 1992

CNFP : 千葉県習志野市津田沼2-17-1 千葉工業大学津田沼校舎

CNFD : 1992. 03. 25 - 1992. 03. 27

HOST1 : 社団法人 電気学会

HSTY1 : シヤダシヨウデンキガクカイ

LECN : 68

ABST : 本研究は、メタルハライドランプの入力電力形態として階段波形を用い、その点灯特性および分光分布特性を測定したものである。その結果、波形形状を一定にした場合、周波数の増加にともない発光効率が向上することが認められた。分光分布特性においては周波数の低い間はHgの発光強度の比率が高く、周波数が高くなるにつれて演色性は改善されていくことが認められた。また波形形状に矩形波、パルス、階段波を用い比較した結果パルス点灯ではHgが、矩形波点灯では金属ハロゲン化物の発光強度が強くなり階段波点灯時はおよそこれら2つの中間的な特性を示すことがわかった。

CITN1 : 平成4年電気学会全国大会講演論文集

KYWD : 階段波点灯 // パルス点灯 // 矩形波点灯 // 分光分布

KYWE : lighting with two stepped wave // lighting with pulse wave // lighting with square wave // specturum analysis

CFID : 0001019101

6-9 第3ステップのデータベース内容

平成元年以降で、学術情報センターに登録をされている、照明学会全国大会以外の文献となるが、これまでに調査した内容は次の通りである。ただキーワード設定までには至らなかった。

- (3) 高山, 山崎, 田中, 重松 : ムネン用ハロゲンランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) P168
- (4) 井上 : 広域調光制御システムにおけるPWM調光の応用, 照明学会誌 74-10 (平2年) P157
- (5) 加藤 : 次世代ハロゲンランプの調光制御システムに関する調査報告, 照明学会誌 74-10 (平2年) P684
- (6) 石井, 山崎, 吉川, 高野 : 高圧ナトリウムランプのハロゲンランプ化, 照明学会誌 74-10 (平2年) P660
- (7) 谷, 山崎, 森田 : 多重電圧用ハロゲンランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) P660
- (8) 清水, 水野, 藤井 : 一石自己発光型LEDランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) P660
- (9) 前原, 田中, 山崎, 中西 : LEDランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) P660
- (10) 藤井 : トランプ用LEDランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) P660
- (11) 松川, 西野, 谷 : 直列トランプ用高圧ナトリウムランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) P660
- (12) Okuda, A., Ueda, A., Kambara, Y., Mitani, M.: Development of an Electronic Dimming Ballast For Fluorescent Lamps, IESENA Annual Conf. Tech. Paper (1991) P140
- (13) 甲斐, 藤田 : H Iランプの暗点特性, 照明学会誌 74-10 (平2年) G360
- (14) 童子, 藤野, 谷 : 浴面ランプ用LEDランプの調光制御システム, 照明学会誌 74-10 (平2年) G-358
- (15) 村田, 前田, 大森, 藤川, 山口 : トランプ用LEDランプの調光制御システム, NEC技術報 Vol 44 No.81 1991
- (16) E. Rasch and E. Stalnic: Behavior of Metal Halide Lamps with Conventional and Electronic Ballasts, J. of the IES Summer 1991 P88

- (1) 四宮：点灯装置の技術動向と展望，照学会誌 74-5 (平2年) P292
- (2) 井上：照明監視制御システムの開発，電気設備学会研究発表会
F-9 (平2年) P165
- (3) 高山, 山崎, 柴田：多重伝送技術を用いた照明制御システム，
電気設備学会研究発表会 F-8 (平2年) P163
- (4) 塩井：広域街路樹照明設備における PWM 調光の応用，
電気設備学会研究発表会 F-5 (平2年) P157
- (5) 加納：次世代光源システム研究調査委員会報告，
照学会誌 74-10 (平2年) P684
- (6) 石神, 杉山, 吉川, 渡辺：高圧ナトリウムランプのパルス点灯解析，
照学会誌 74-10 (平2年) P660
- (7) 神谷, 山崎, 森田：多重伝送を用いた照明制御システム MESL-S，
MESL リモコン，
東芝レビュー Vol 45 No.10 (1990) P823
- (8) 清水, 伊藤, 藤井：一石自励型インバータを用いた施設用電子安定器，
東芝レビュー Vol 45 No.10 (1990) P819
- (9) 前原, 田中, 横山, 中西：フルブリッジインバータによる HID ランプの
3 MHz 点灯実験，
電気関係学会中国支部連大 (平2年)
- (10) 斉藤：インバータ蛍光灯 (電子回路式安定器)，
電子技術 特別増大号 1990-3 P113
- (11) 松川, 西野, 三谷：直列インバータ制御用高耐圧スマートパワー IC の開発，
電学全大 441 (平2年) 4-19
- (12) Okude. A, Ueoka. A, Kambara. Y, Mitani. M: Development of an
Electronic Dimming Ballast For Fluorescent Lamps，
IESNA Annual Conf. Tech. paper (1991) P140
- (13) 甲斐, 藤田：H I D ランプの階段波点灯とその特性，
電気関係学会関西支部連大 G13-11 (平3年) G360
- (14) 竜子, 藤野, 板谷：沿面負グローを利用した放電発光色制御，
電気関係学会関西支部連大 G13-9 (平3年) G-358
- (15) 村田, 前田, 大森, 藤川, 沖村, 田口：ハイグレードインバーター照明器具，
NEC 技報 Vol 44 No.81 1991
- (16) E. Rasch and E. Stafnic: Behavior of Metal Halide Lamps with
Conventional and Electronic Ballasts，
J. of the IES Summer 1991 P88

- (17) E.E.Hammer : Fluorescent System Interaction With Electronic Ballasts ,
J of the IES Winter 1991 56
- (18) 西村 : HID ランプ点灯装置の現状と動向 ,
電気関係学会関西支部連大 S11-5 (平3年) S75
- (19) 浦山 : HID ランプ関連システムの現状と動向 - 総論 - ,
電気関係学会関西支部連大 S11-1 (平3年)
- (20) 南淵, 北出, 川添 : メタルハライドランプ用定電力形安定器の開発 ,
電気関係学会関西支部連大 G13-10 (平3年) G359
- (21) 竜子, 藤野, 三谷, 板谷 : 消イオン促進による可変色放電の輝度向上 ,
電子情報通信学会研究会資料 EID90-92 (1991)

なお6-7節から6-9節にかけご紹介したデータベース内容については、文献情報委員会に引き継いでもらい、その運用は一任することとした。

6-10 今後の検討課題

6-10-1 今回のデータベースは、文献情報委員会に引き継がれることとなるが、データベース化の内容等充実したい面がまだまだあると考える。今後の継続展開については、文献情報委員会の中で審議いただくこととした。

6-10-2 今回は、回路関係に限ってデータベース化を進めたが、この度の提案内容を参考にして、文献全体に展開する必要があると考える。

6-10-3 キーワードについては、現在は照明学会全国大会の各論文に記載されているので、今後の検索における充分なる活用を検討する必要がある。

6-10-4 データベース化の運用は、継続的なデータベースの見直しが不可欠であり、維持、管理が大きな問題になると考える。組織体制、費用についての検討が必要となる。

今回の活動は、文献情報のデータベース化の入り口であり、今後さらに活用価値の拡大を考えた、データの処理ならびに継続的運用をお願いしたい。

なお、最後になりましたが、第1ステップのデータを入力いただいた日本大学生産工学部電気工学科大谷研究室の皆様に、感謝申し上げます。

7. あ と が き

光源システムに関するものの内、①封入材料、②管壁材料、③電極材料、④点灯回路関係の文献情報、の4項目についてデータの収集整理、あるいはデータベース化を行なった。それぞれについては、各位の研究・開発・設計において十分お役に立つものと確信している。しかしながら、これでは光源システム関連全般のデータベース化からは程遠く、本委員会の設立を提案された故中西宣一郎氏（岡山大学）の目的を考えると、その万分の一も達成してないことになり、故人に対しても、また各位に対しても、まことに申し訳ないことと存じている次第である。

この上は、どなたか心ある方のご努力に期待し、是非データベース化を完成させていただきたいと願うのみである。

謹んで故中西宣一郎氏のご冥福をお祈り申し上げます。

付 録

「4. 管壁材料に関するデータ」に関連して、石英ガラスの文献を349件、「6. 点灯回路に関する文献情報」に関連して、回路関係の文献を1123件、MS-DOSフォーマットのカンマ区切り形式で収録したディスクを1枚添付した。それぞれのファイル名とフィールド名ならびに印字例(主要なフィールドについてのみ)を以下に示す。

(1) 石英ガラスの文献

① ファイル名: [SEKIEI.COM]

② フィールド名

フィールド名	フィールドタイプ	式/入力オプション
著者	テキスト	
発行年	テキスト	値のタイプは"数字"でなければなりません。 "1900"から"2100"までの値でなければなりません。
雑誌 出版社名	テキスト	値一覧: J. Non-Cryst. Solids J. Am. Ceram. Soc. J. Appl. Phys. Appl. Phys. Lett. Jap. J. Appl. Phys. 照明学会誌 Sov. J. Glass Phys. Chem. Inorg. Mater.(Sov.) J. Light & Vis. Env. Phys. Chem. Glasses J. Mater. Sci.
Vol.	テキスト	
号	テキスト	
p.	テキスト	
表題	テキスト	
分類	テキスト	値一覧: book review paper catalog proceeding
文献No	テキスト	ユニークな値のみ
key word	テキスト	
ref	計算(テキスト)	=" "& 著者 & "; " & 表題 & "¶ " & 雑誌 出版社名 & ", " & Vol. & "[" & 号 & "]" & p. & " (" & 発行年 & ") : " & key word

③ 印字例

[著者]B.R.Lawn" [表題]Physics of Fracrure
[分類]paper [発行]J. Am. Ceram. Soc. 1983年 Vol.66 No.2 p.83 - 91
[KeyWord]機械的性質、強度、破壊、

[著者]Bruckner R." [表題]Properties and Structure of Vitreous Silica
[分類]review [発行]J. Non-Cryst. Solids 1971年 Vol.5 No. p.177
[KeyWord]輸送現象、拡散(H2/OH/O2)

[著者]D.W.Bowen and R.W.Taylor"[表題]Silica Viscosity from 2300 to 2600K
[分類]paper [発行]J. Am. Ceram. Soc. 1978年 Vol.57 No.9 p.818 - 819
[KeyWord]機械的性質、歪、粘性、

(2)回路関係の文献

①ファイル名: [KAIRO.COM]

②フィールド名

フィールド	フィールド名	型	長さ
1	コ分著表種雑会年月言出V N S E へ版備	C	4
2	一類者題別誌名	C	5
3	ド	C	5
4	名	C	0
5	元	C	1
6	語版	C	9
7	〇	C	0
8	一	C	2
9	数	C	9
10	考	C	5
11		C	1
12		C	6
13		C	5
14		C	5
15		C	7
16		C	3
17		C	2
		C	1
		C	0
		C	5
** 合計 **			700

③印字例

[著者] 姫井, 井上, 中西 [表題] サイリスタ逆平列形昇圧回路による放電灯の点灯
 [雑誌] 照学誌 Vol.055 No.009
 [大会] 1971年 月 pp.552-5

[著者] Verderber, R.R., [表題] Energy efficiency and performance of solid-state ballasts
 [雑誌] Light. Des. Appl. Vol. No.
 [大会] 1979年 04月 pp.23-28

[著者] 四宮, 岡本, 平松 [表題] 高効率を主眼とした蛍光灯高周波点灯回路の一方式
 [雑誌] Vol. No.
 [大会] 昭和58年照学全大 1983年 月 p.36

