

JAERI-M

4 7 5 0

無機融体の物性値および状態図

Li_2BeF_4

1972年3月

大野英雄・大道敏彦・古川和男

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

無機融体の物性値および状態図 ; Li_2BeF_4

日本原子力研究所東海研究所燃料工学部

大野英雄, 大道敏彦, 古川和男

(1972年2月10日受理)

この報告書は冷却材として有用な Li_2BeF_4 ($\text{LiF}-\text{BeF}_2$; 66-34 mole%) の状態図および物性値をまとめたものである。含まれる内容は, 主として状態図, 物理的性質 (密度, 粘性係数, 蒸気圧, 表面張力, 熱伝導度, 等.), 熱力学的性質 (比熱, 融解熱, エンタルピーおよびエントロピー変化, 溶解度, 等.), 電気化学的性質 (電気伝導度, 等.), 光学的性質 (ラマンスペクトル) である。

Phase Diagram and the Data for Liquid Metals
and Inorganic Molten Salts: Li_2BeF_4

Hideo OHNO, Toshihiko OHMACHI and Kazuo FURUKAWA

Div. of Nuclear Fuel Research, Tokai, JAERI

(Received 10 February 1972)

For Li_2BeF_4 , which is a promising coolant, the phase diagram and the following data are given: physical properties including density, viscosity, vapor pressure, surface tension and heat conductivity; thermodynamic properties such as heat capacity, heat of fusion, enthalpy and entropy change, and solubility; electrochemical properties, i.e. electroconductivity, etc.; and optical properties, viz. Raman spectroscopy, etc.

目 次

報告書の分類法	1
I.B.2a Li_2BeF_4 の物性値および状態図	2
1. 序	2
2. 主要略号一覧表	2
3. 状態 図	3
4. 結晶構造	4
5. 密 度	6
6. 蒸 気 圧	8
6.1 蒸 気 圧	8
6.2 蒸気の状態	8
7. 膨張係数	10
8. 圧 縮 率	10
9. 音 速	10
10. 粘性係数	10
11. 動粘性係数	12
12. 表面張力	12
13. 比熱, 融解熱, エンタルピー, エントロピー	13
14. 熱伝導度	18
15. 熱拡散率	18
16. プラントル数	18
17. 電気伝導度	19
18. 光学的性質	21
19. 第3成分の溶解度	22
19.1 希 ガ ス	22
19.2 BF_3	29
19.3 HF , DF	31
19.4 MoF_3 , NbFx	34
19.5 LaF_3 , CeF_3 , SmF_3 , NdF_3	36
19.6 PuF_3	39
19.7 CrF_3	40
19.8 NiF_2	40
19.9 FeF_2	41
19.10 AlF_3	41
19.11 BeO	42
19.12 I	42
19.13 KI	43
20. 第3成分の熱力学的データ	44

報告書の分類法

液体金属および熔融塩は理論的にも非常に興味あり未解決の多い分野であるが、実用的にも古くから利用されている。特に最近、高速増殖炉の冷却材としての、液体ナトリウムの利用、熔融塩炉の液体燃料として、 $\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{TbF}_4-\text{UF}_4$ 系および冷却材として $\text{LiF}-\text{BeF}_2$ 系の利用、また核融合炉ブランケットの冷却材としての液体リチウム、 $\text{LiF}-\text{BeF}_2$ 系熔融塩の検討等、原子力の分野にも応用されている。今までにも液体金属および熔融塩の物性値に関する報告も多くあるが、この一連の、報告書では特に関心ある個々の液体金属および熔融塩に関する物性値を系統的に、次にのべる分類法に従って今後報告する。

物質および物性による報告書の分類法

I 物質による分類

I.A 液体金属

I.A.1 ナトリウム

I.A.2 リチウム

.....

I.B 熔融塩

I.B.1 フッ化物単体

I.B.2 フッ化物二元系

I.B.3 塩化物単体

I.B.4 塩化物二元系

.....

I.C その他

II 物性による分類

II.A 液体金属

II.A.1 物理的性質（密度，蒸気圧，粘性係数，表面張力，熱伝導度，等）

II.A.2 熱力学的性質（比熱，融解熱，エンタルピー変化，エントロピー変化，溶解度，等）

II.A.3 電気的性質（電気抵抗，等）

II.A.4 共存性

.....

II.B 熔融塩

II.B.1 物理的性質

II.B.2 熱力学的性質

II.B.3 電気化学的性質

II.B.4 共存性

.....

Li₂BeF₄ の物性値および状態図

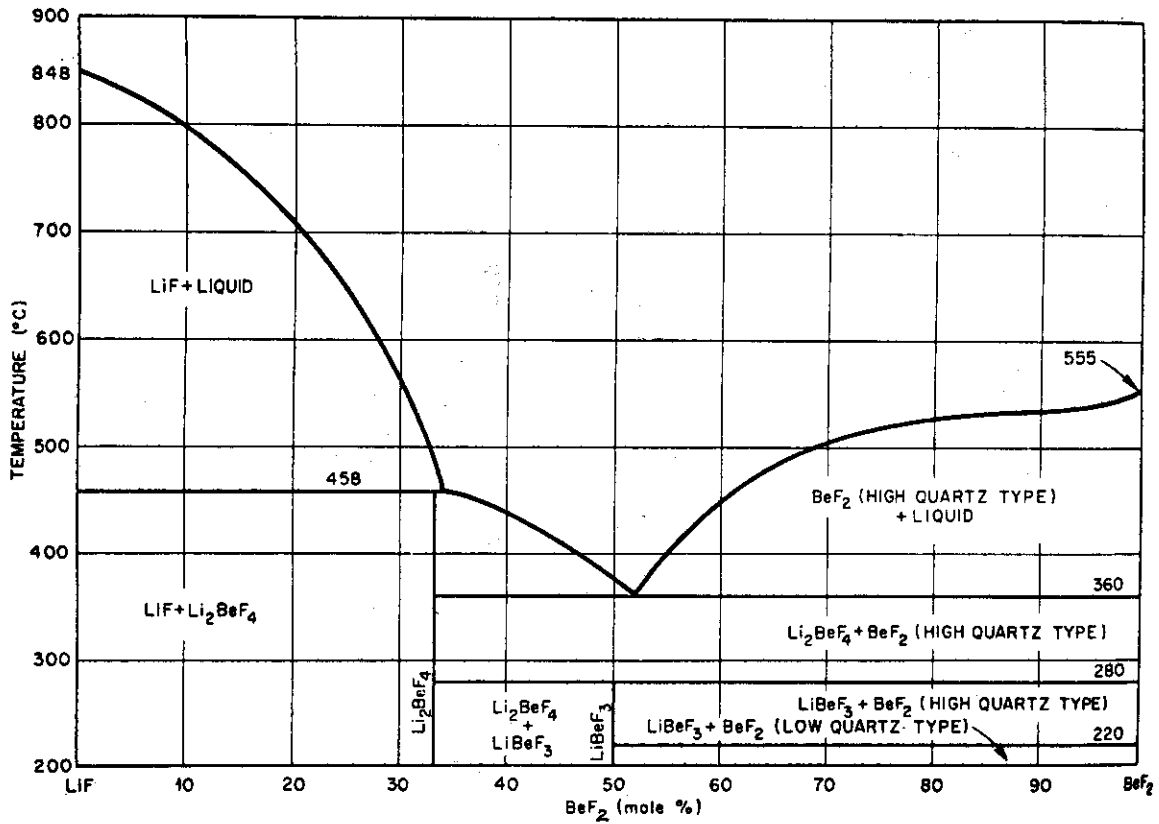
1. 序

Li₂BeF₄ (LiF-BeF₂: 56-34 mole%) は、オークリッジ国立研究所の溶融塩炉 (MSRE) の冷却材としてすでに使用されているばかりでなく、最近検討がおこなわれている核融合炉ブランケットの冷却材としても考えられているように、458°C の融点をもち種々の方面に利用でき得るすぐれた塩である。このメモは、Nuclear Science Abstract Vol. 25, 4619 (1971, September) までに集録されている LiF-BeF₂ (66-34 mole%) の物性値および状態図、Li₂BeF₄ 中への第3成分の溶解度、等をまとめたものである。Li₂BeF₄、あるいはそれに近い組成の物性値を集めてあるが、Li₂BeF₄ の組成からかなり離れたところの物性値は「参考」として記述してある。

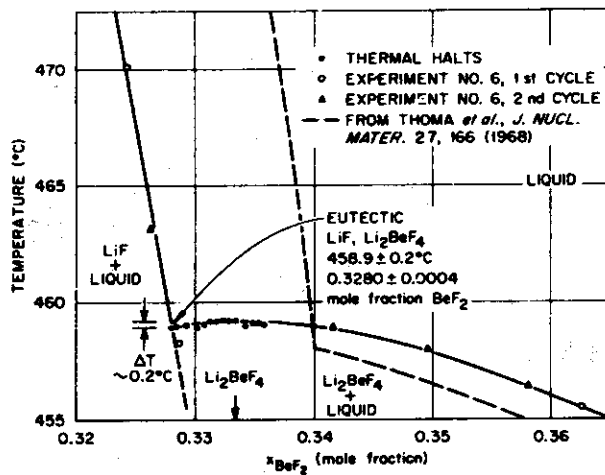
2. 主要略号一覧表

記号		単 位
t	温 度	°C
T	絶対温度	°K
ρ	密 度	g · cm ⁻³
P	蒸気圧	mmHg
α	膨張係数	°C ⁻¹
β_T	等温圧縮率	cm ² · dyne ⁻¹
μ	音 速	m · sec ⁻¹
C _P	定圧比熱	cal · g ⁻¹ · °C ⁻¹
C _V	定容比熱	cal · g ⁻¹ · °C ⁻¹
H	エンタルピー	cal · g ⁻¹
S	エントロピー	cal · g ⁻¹ · °K ⁻¹
K	熱伝導率	cal · cm ⁻¹ · sec ⁻¹ · °C ⁻¹
X	熱拡散率	cm ² · sec ⁻¹
P _r	プラントル数	
η	粘性係数	dyne · sec · cm ⁻²
ν	動粘性係数	cm ² · sec ⁻¹
γ	表面張力	dyne · cm ⁻¹
κ	電気伝導度	Ohm ⁻¹ · cm ⁻¹
R	ガス定数 (= 82.0561)	cm ³ · atm · °K ⁻¹ · mole ⁻¹
r	ガス原子の半径	Å ^o
K _p	溶解度	mole · cm ⁻³
K _{exp} ^H	ヘンリーの法則の定数 (実験値)	mole · cm ⁻³ · atm ⁻¹
K _{cal} ^H	ヘンリーの法則の定数 (計算値)	mole · cm ⁻³ · atm ⁻¹

3. 状態図 (1)-(5)



第 3.1 図 LiF-BeF₂ 系の温度-組成状態図 (1)



第 3.2 図 EMF 測定による LiF-BeF₂ 系の液相線 (5)

4. 結晶構造

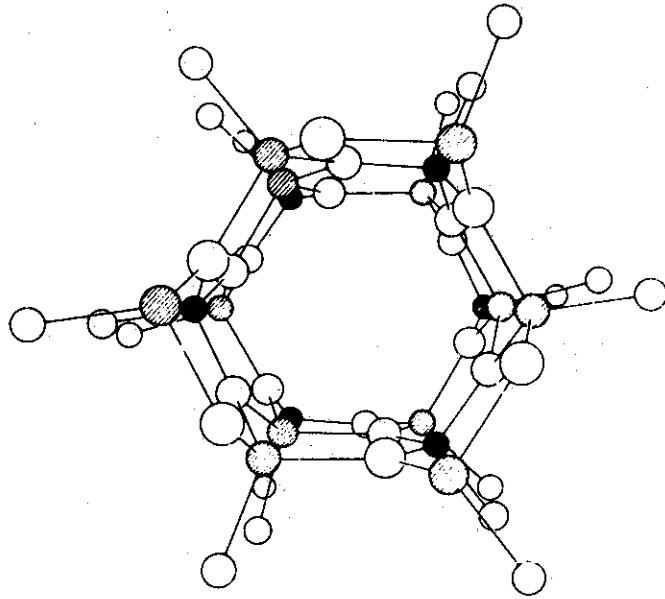
結晶系

六方晶系

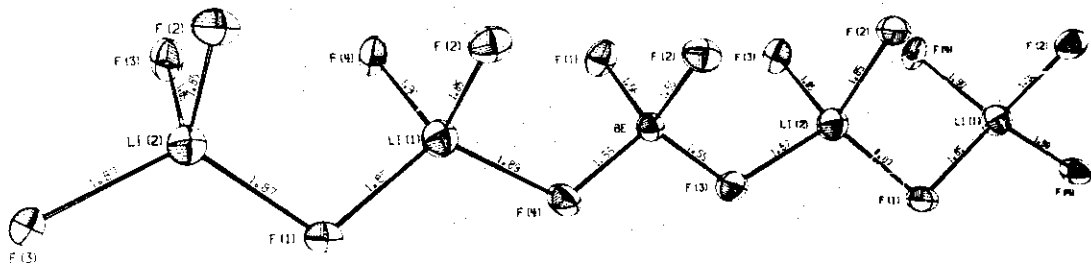
$$a = 13.29 \pm 0.01 \text{ \AA}$$

$$c = 8.91 \pm 0.01 \text{ \AA}$$

空間群 $R\bar{3}$



第 4.1 図 Li_2BeF_4 の結晶構造⁽⁶⁾
 (●: Be, ⊙: Li, ○: F)



第 4.2 図 Li_2BeF_4 の四面体対称性⁽⁷⁾

第4.1表 最小自乗法で求めた Li_2BeF_4 中の原子配置⁽⁷⁾

atom	x	y	z
Li(1)	-0.0216(2) (-0.01)	-0.2156(2) (-0.21)	0.5816(2) (0.58)
Li(2)	-0.0162(2) (-0.01)	-0.2073(2) (-0.21)	-0.0848(2) (-0.08)
Be	-0.01550(8) (-0.011)	-0.21170(8) (-0.211)	0.2494(1) (0.250)
F(1)	0.11052(4) (0.120)	-0.10578(4) (-0.092)	0.25192(2) (0.250)
F(2)	-0.00582(4) (0.000)	-0.32315(4) (-0.320)	0.24855(6) (0.250)
F(3)	-0.07502(4) (-0.074)	-0.20352(4) (-0.204)	0.10408(5) (0.083)
F(4)	-0.08185(4) (-0.074)	-0.20919(4) (-0.205)	0.39229(5) (0.417)

5. 密度⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾LiF-BeF₂ (66-34mole%)

$$\rho = 2.280 - 4.88 \times 10^{-4} t^{(8)} \quad (t = 514.5 \sim 820.3^{\circ}\text{C})$$

(第5.1表, 第5.1図参照)

「参考」

$$\rho = 2.742 - 9.5 \times 10^{-4} t^{(9)}$$

(t = 450 ~ 1000°C)

$$\rho = 2.296 - 4.82 \times 10^{-4} t^{(10)}$$

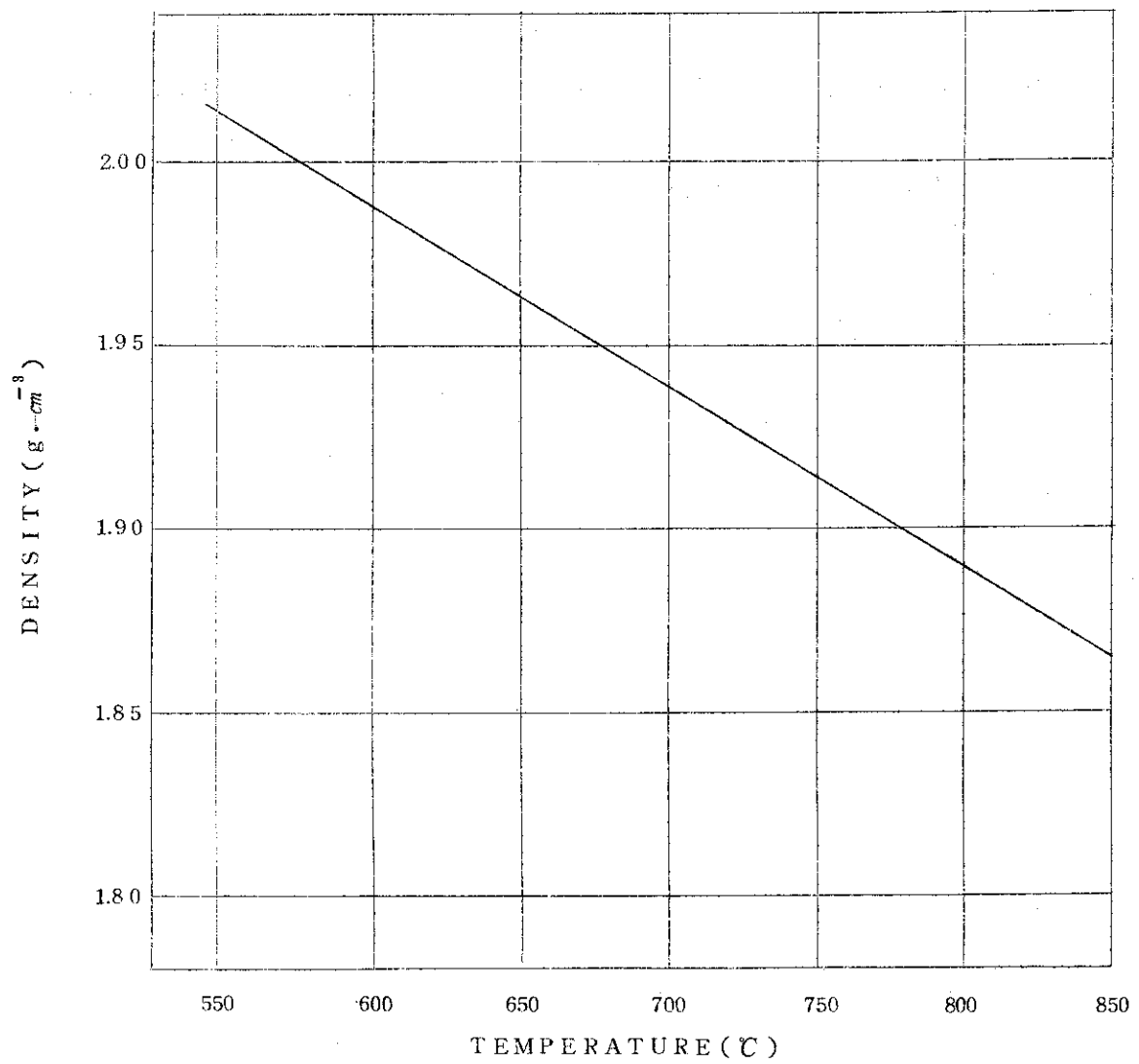
計算値⁽¹⁰⁾

$$\rho = 2.24 - 6.0 \times 10^{-4} t \quad (\text{混合法})$$

$$\rho = 2.152 - 3.91 \times 10^{-4} t \quad (\text{モル体積の総和})$$

第5.1表 LiF-BeF₂ (66-34mole%) の密度の
温度変化⁽⁸⁾

温度(°C)	密度(g·cm ⁻³)
550	2.012
600	1.987
650	1.962
700	1.938
750	1.914
800	1.890
850	1.865



第 5.1 図 LiF-BaF₂ (66-34 mole%) の密度の
温度変化 (8)

6. 蒸気圧

6.1 蒸気圧⁽¹¹⁾

LiF-BeF₂ (6.49-35.1mol%)

$$\log P = 8.764 - \frac{10050}{T}$$

P: 蒸気圧 (mmHg)

T: 温度 (°K)

第6.1.1表 LiF-BeF₂ (6.49-35.1mole%) の蒸気圧⁽¹¹⁾ 第6.1.2表 LiF-BeF₂ (6.49-35.1mole%) の蒸気圧 (外挿値)⁽¹¹⁾

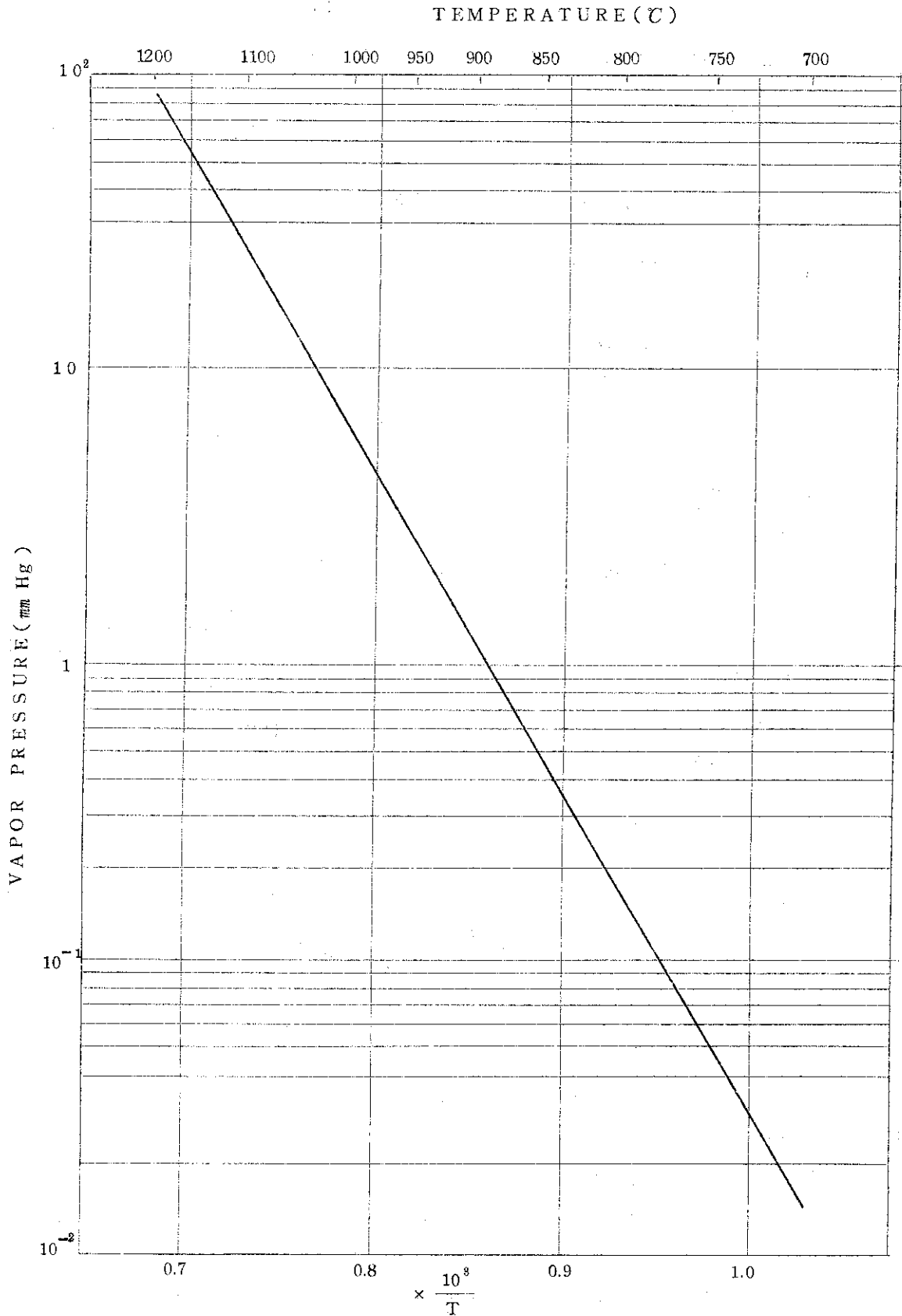
温度(°C)	蒸気圧 (mmHg)
968.6	4.9
1017	9.4
1039	12.9
1066	18.1
1095	25.8
1128	40.0
1146	47.3
1160	55.4
1182	71.8
1194	83.0
1203	88.8

温度(°C)	蒸気圧 (mmHg)
500	0.000058
550	0.00036
600	0.0018
650	0.0076
700	0.027

6.2 蒸気の状態

第6.2.1表 Li₂BeF₄の蒸気中に質量分析計で観測された質量数⁽⁷⁷⁾

質量数	イオン型
7	Li ⁺
26	LiF ⁺
33	Li ₂ F ⁺
47	BeF ₂ ⁺
54	LiBeF ₂ ⁺
59	Li ₃ F ₂ ⁺



第 6.1.1 図 $\text{LiF}_1 - \text{BeF}_2$ (649-35.1 mole %) の蒸気圧⁽¹⁾

7. 膨張係数⁽¹²⁾⁽¹³⁾

LiF-BeF₂ (66-34 mole%) についての推定値

計算式

$$\alpha \equiv \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

$$\rho = \rho_0 - aT$$

$$\alpha = \frac{a}{\rho}$$

(例) 600°Cにおける推定値

$$\alpha = 2.14 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (誤差 } 20\%)$$

8. 圧縮率⁽¹⁴⁾

Li₂BeF₄における推定値(注)

$$\beta_T = 2.3 \times 10^{-12} \exp(1.0 \times 10^{-3} T)$$

(注) LiF, Li₂SO₄ の圧縮率の温度変化⁽¹⁵⁾より経験的に推定した値である。

9. 音速⁽¹⁶⁾

LiF-BeF₂ (66-34 mole%) についての推定値⁽¹⁶⁾

計算式

$$\mu = \left(\frac{C_p}{C_v \beta_T} \right)^{1/2}$$

推定値

温度 (°C)	音速 (m.sec ⁻¹)
500	3420
600	3310
700	3200

10. 粘性係数⁽¹⁷⁾⁻⁽²⁰⁾

LiF-BeF₂ (64-36 mole%)

$$\eta = 0.116 \exp(3755/T) \text{ } ^{(20)}$$

〔参考〕 $\log \eta = 2000/T - 1.226 \text{ } ^{(17)}$

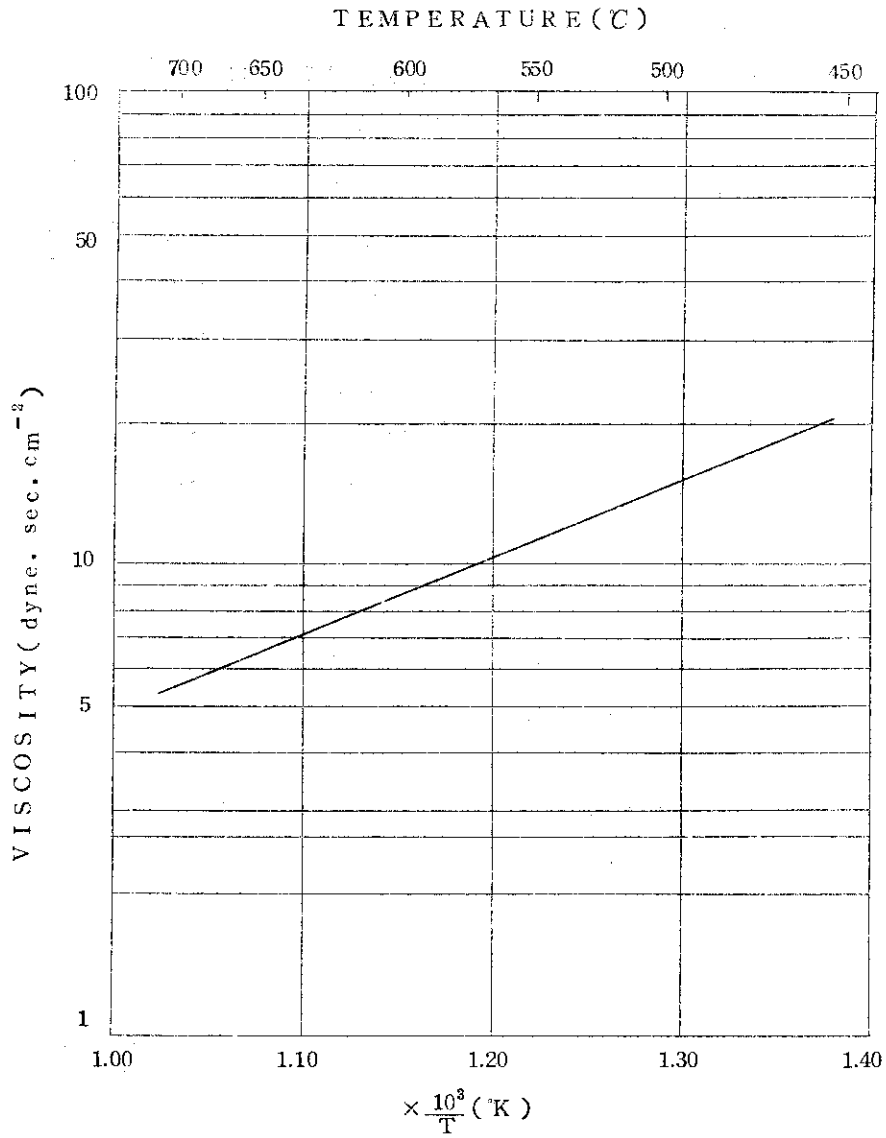
$$(T = 735 \sim 873 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$\log \eta = 2060/T - 1.305 \text{ } ^{(18)}$$

$$(T = 735 \sim 873 \text{ } ^\circ\text{K})$$

第10.1表 LiF-BeF₂ (64-36mole%)の粘性係数⁽²⁰⁾

温 度 (°C)	粘 性 係 数 (dyne sec cm ⁻²)
450	208 ₈
500	14.9 ₆
550	11.1 ₄
600	8.5 ₅
650	6.7 ₉
700	5.5 ₁



第10.1図 LiF-BeF₂ (66-34mole%)の粘性係数⁽²⁰⁾

1.1. 動粘性係数⁽²¹⁾LiF-BeF₂ (66-34mole%) についての推定値

計算式

$$\nu = \eta / \rho$$

推定値

温度(°C)	動粘性係数 (cm ² ·sec ⁻¹)
500	7.44×10 ⁻²
600	4.36×10 ⁻²
700	2.86×10 ⁻²

1.2. 表面張力⁽²²⁾⁻⁽²⁴⁾第1.2.1表 Li₂BeF₄の金属固体板上での表面張力⁽²²⁾

(測定方法：静止液滴法)

	温度 (°C)	角度 (deg)	表面張力 (dyne·cm ⁻¹)
graphite	500-800	147±2	~230
Au	525-625	138±2	~230
Pt	640-740	127±3	~230
Ni	480-600	115±2	~230
Cu	460-540	95±2	~230

[参考]

(a) 表面張力の温度変化の推定値⁽²⁴⁾

$$= 260 - 0.12 t \quad (\text{誤差 } +30, -10\%)$$

(b) LiF-BeF₂ (63-37mole%)の測定値⁽²³⁾

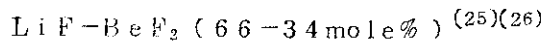
測定方法：輪環法

測定温度：480°C

表面張力：196 dyne·cm⁻¹

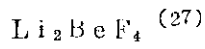
1.3. 比熱，融解熱，エンタルピー，エントロピー - (25)-(30)

1.3.1 定圧比熱



$$\text{液体} \quad C_p = 0.56 \text{ (26)}$$

$$\text{固体} \quad C_p = 0.317 + 3.61 \times 10^{-4} t \text{ (26)}$$

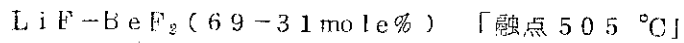


$$\text{液体} \quad C_p = 0.56 \text{ (} T = 745.2 \sim 900 \text{ }^\circ\text{K)}$$

$$C_p = 0.218 + 3.58 \times 10^{-4} T$$

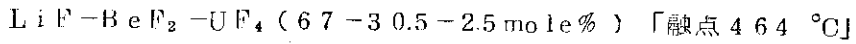
$$\text{(} T = 273.15 \sim 745.2 \text{ }^\circ\text{K)}$$

「参考」 (28)



$$C_p = 0.48 \text{ (} 300 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 0.67 \text{ (} 700 \text{ }^\circ\text{C)}$$

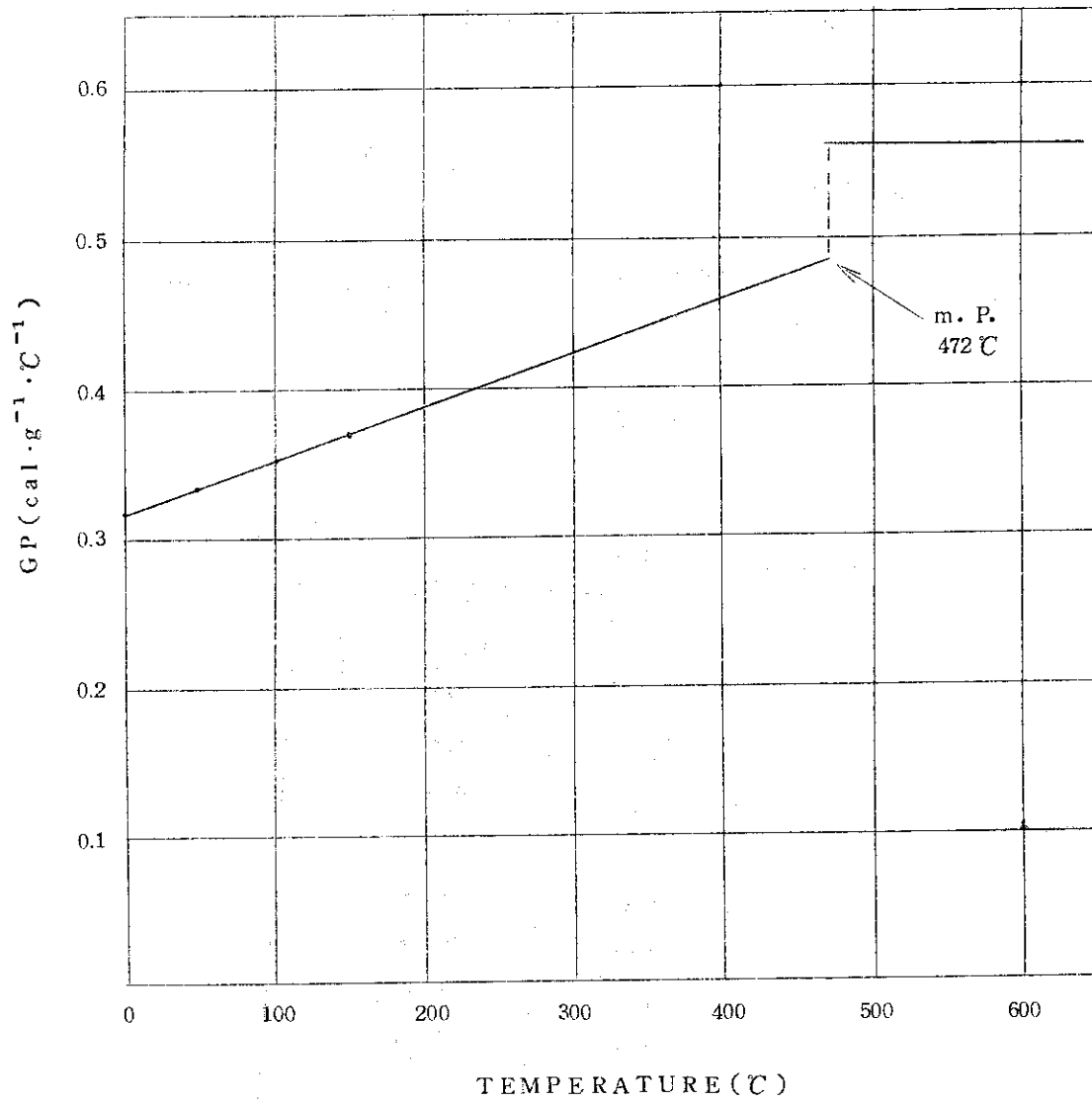


$$C_p = 0.41 \text{ (} 300 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 0.57 \text{ (} 700 \text{ }^\circ\text{C)}$$

第13.1.1表 Li_2BeF_4 の定圧比熱の温度変化

温 度 ($^\circ\text{C}$)	定 圧 比 熱 ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
0	0.31 ₆
50	0.33 ₄
100	0.35 ₂
150	0.37 ₀
200	0.38 ₈
250	0.40 ₆
300	0.42 ₃
350	0.44 ₁
400	0.45 ₉
450	0.47 ₇
500	0.56 ₀
600	0.56 ₀



第13.1.1図 Li_2BeF_4 の定圧比熱の温度変化

1.3.2 定容比熱 (26)

定圧比熱よりの計算

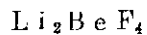
計算式

$$C_V = C_P - \frac{\alpha^2 T}{\rho \beta_T}$$

第1.3.2.1表 定圧比熱より計算された Li_2BeF_4 の定容比熱

温度 (°C)	$C_V (\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	C_P/C_V
500	0.48 ₉	1.17
600	0.48 ₂	1.18
700	0.47 ₅	1.20

1.3.3 融解熱 (26)(27)



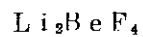
融点 (745.2°K) におけるエンタルピー変化

$$\Delta H = 107 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \quad (27)(26)$$

融点 (745.2°K) におけるエントロピー変化

$$\Delta S = 0.14 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1} \quad (27)$$

1.3.4 エンタルピー



固体

$$H(T) - H(298.15^\circ\text{K}) = -81.05 + 2.18 \times 10^{-1} T + 1.79 \times 10^{-4} T^2 \quad (27)$$

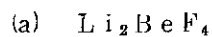
(第1.3.5.1表参照)

液体

$$H(T) - H(298.15^\circ\text{K}) = -127.9 + 0.558 T \quad (27)$$

(第1.3.5.1表参照)

「参考」



固体

$$H(t) - H(0^\circ\text{C}) = 0.3179 t - 1.806 \times 10^{-4} t^2 \quad (26)$$

(t = 0 ~ 472 °C)

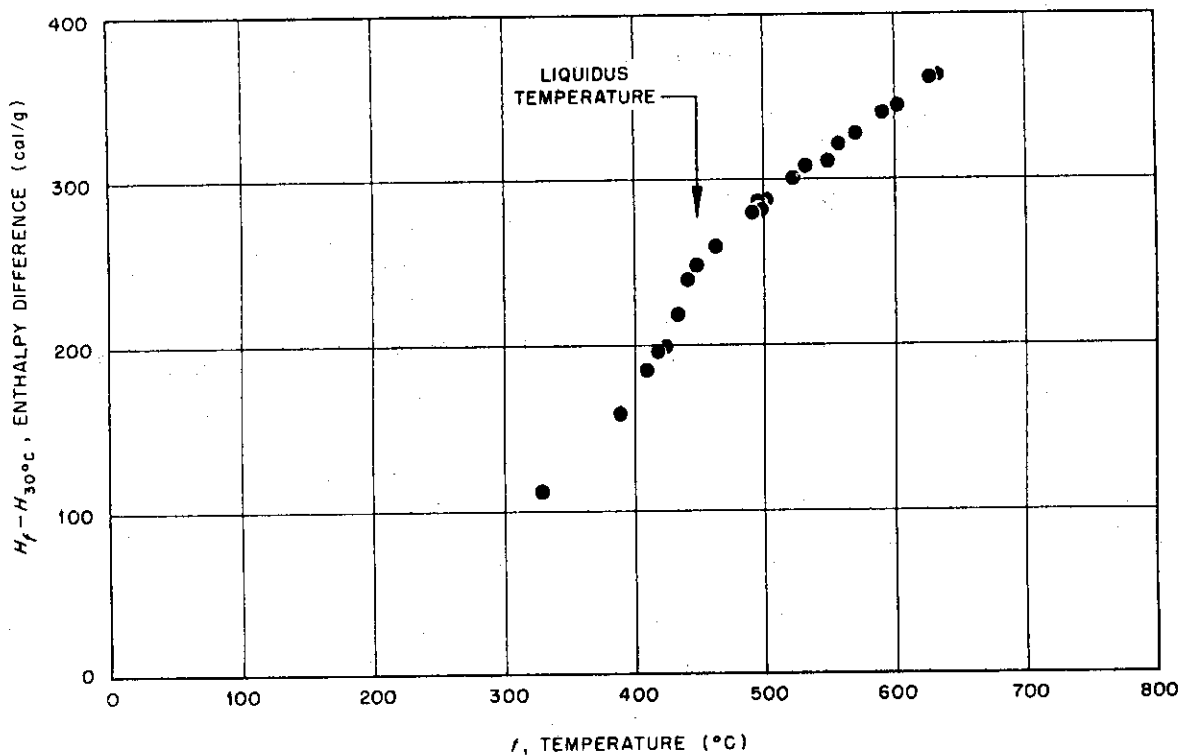
液体

$$H(t) - H(0^\circ\text{C}) = 32.632 + 0.561 t \quad (26)$$

(t = 472 ~ 600 °C)

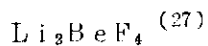
$$H(t) - H(30^\circ\text{C}) = 33.62 + 0.577 (t - 30) \quad (21)$$

(b)



第13.4.1図 LiF-BeF₂ (68-32mole%) のエンタルピーの温度依存性⁽³⁰⁾

13.5 エントロピー



固体

$$S(T) - S(298.15^\circ\text{K}) = -1.35 + 2.18 \times 10^{-1} \ln T + 3.59 \times 10^{-4} T$$

(第13.5.1表参照)

液体

$$S(T) - S(298.15^\circ\text{K}) = -3.19 + 0.558 \ln T$$

(第13.5.1表参照)

第13.5.1表 固体および液体 Li_2BeF_4 の熱力学函数(27)

T	H(T)-H(298 °K)	C_P	S(T)-S(298 °K)
°K	cal.g ⁻¹	cal.g ⁻¹ . °K ⁻¹	cal.g ⁻¹ . °K ⁻¹
固 体			
298.15	0	0.327	0
300	0.61	0.327	0.002
325	8.90	0.336	0.029
350	17.41	0.345	0.054
375	26.16	0.354	0.078
400	35.12	0.363	0.101
425	44.32	0.372	0.123
450	53.74	0.381	0.145
475	63.37	0.390	0.166
500	73.24	0.399	0.186
525	83.33	0.408	0.206
550	93.66	0.417	0.225
575	104.20	0.426	0.244
600	114.97	0.435	0.262
625	125.96	0.444	0.280
650	137.17	0.453	0.297
675	148.62	0.462	0.315
700	160.28	0.471	0.332
725	172.18	0.480	0.348
745.2	181.95	0.487	0.362
液 体			
745.2	289.14	0.560	0.506
750	291.83	0.560	0.509
775	305.84	0.560	0.528
800	319.85	0.560	0.545
825	333.86	0.560	0.563
850	347.86	0.560	0.579
875	361.87	0.560	0.596
900	375.88	0.560	0.611

1.4. 熱伝導度⁽¹⁶⁾LiF-BeF₂ (66-34 mole%)

$$K = 0.010 \text{ watt} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \text{ (誤差} \pm 10\%)$$

1.5. 熱拡散率⁽²¹⁾LiF-BeF₂ (66-34 mole%) についての推定値

計算式

$$X = K / (\rho \cdot C_P)$$

推定値

温度 (°C)	熱拡散率 (cm ² ·sec ⁻¹)
500	2.09 × 10 ⁻³
600	2.14
700	2.18

1.6. プラントル⁽²¹⁾LiF-BeF₂ (66-34 mole%) についての推定値

計算式

$$Pr = \frac{\nu}{X} = \frac{7 C_P}{K}$$

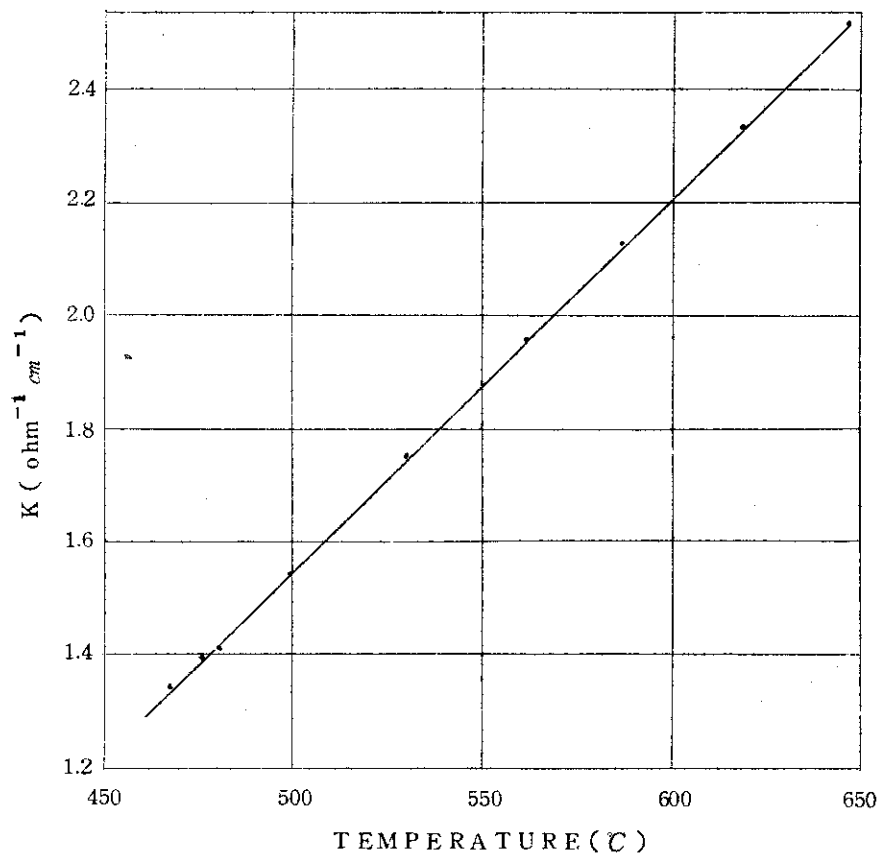
推定値

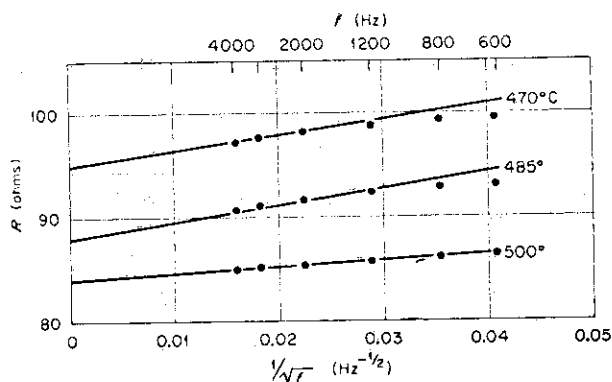
温度 (°C)	プラントル数
500	35.6
600	20.4
700	13.1

1.7. 電気伝導度⁽³¹⁾⁽³²⁾第1.7.1表 LiF-BeF₂(66-34mole%)の電気伝導度⁽³¹⁾

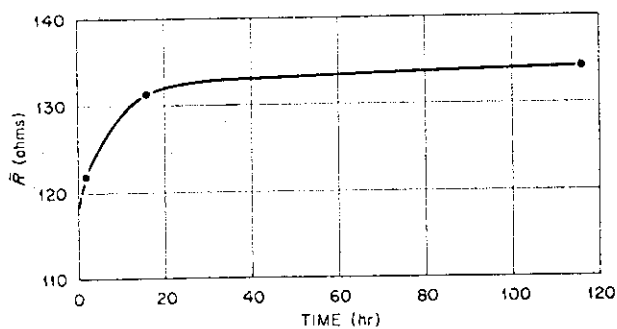
(第1.7.1図参照)

温 度 (°C)	電 気 伝 導 度 ($\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)
468.0	1.342
476.3	1.390
480.5	1.424
499.3	1.540
530.1	1.753
562.0	1.957
588.0	2.132
619.4	2.330
647.2	2.513

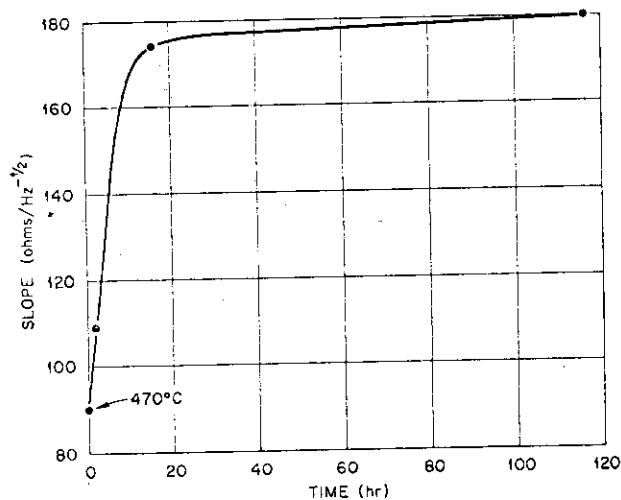
第1.7.1図 LiF-BeF₂(66-34mole%)の電気伝導度の温度依存性⁽³¹⁾



第 17.2 図 LiF-BeF₂ (66-34 mole%) における電気抵抗の振動数依存性 (測定温度: 470°C, 485°C, 500°C)⁽³²⁾

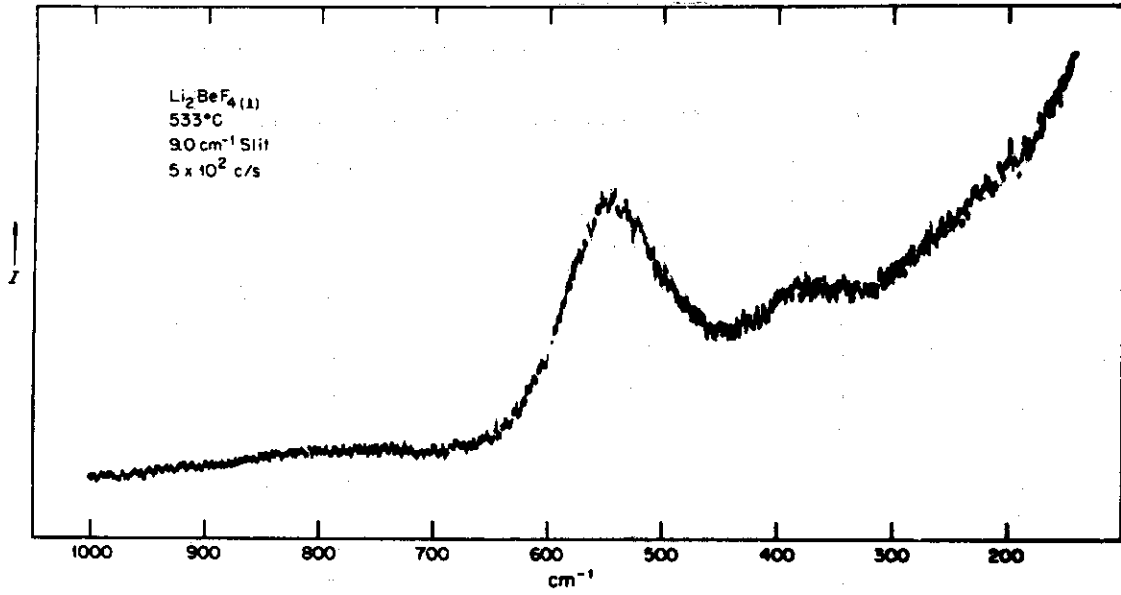


第 17.3 図 LiF-BeF₂ (66-34 mole%) における $f \rightarrow \infty$ に外挿した電気抵抗の時間変化 (測定温度: 485°C)⁽³²⁾



第 17.4 図 LiF-BeF₂ (66-34 mole%) における向配 (Ohm/Hz^{-1/2}) の時間変化 (測定温度: 485°C)⁽³²⁾

18. 光学的性質



第 18.1 図 533°Cにおける Li₂ Be F₄ のラマンスペクトル⁽³³⁾

1.9. 第3成分の溶解度

1.9.1 希ガス (34)-(39)

第1.9.1.1表 LiF-BeF₂ (64-36mole%) 中へのHe

溶解度 (34)(37)

(第1.9.1.2 図参照)

温度 (°C)	圧力 (atm)	溶解度 ($\times 10^8$ mole/cc)	$K_{\text{exp}}^{\text{H}} \times 10^8$ (mole/cc·atm)
500	1.009	7.46	7.39
	1.521	11.46	7.53
	1.996	15.08	7.56
			平均 7.49 \pm 0.07
600	1.103	11.74	11.59
	1.570	18.76	11.95
	2.107	22.40	11.11
			平均 11.55 \pm 0.39
700	1.004	14.81	14.75
	1.526	23.75	15.56
	1.963	28.41	14.47
			平均 14.93 \pm 0.42
800	0.996	19.39	19.47
	1.520	29.63	19.49
	1.978	38.65	19.49
			平均 19.48 \pm 0.01

第19.1.2表 LiF-BeF₂ (64-36mole%)中へのAr
溶解度 (34)(37)

(第19.1.3図参照)

温度 (℃)	圧力 (atm)	溶解度 (10 ³ mole/cc)	KH _{exp} ×10 ³ (mole/cc.atm)
500	0.996	0.562	0.56
	1.014	0.523	0.52
	1.024	0.519	0.51
	1.489	0.755	0.51
	1.500	0.855	0.57
	1.960	1.041	0.53
	1.964	1.088	0.55
			平均 0.54±0.02
600	0.984	1.001	0.98
	0.996	0.949	0.95
	0.997	1.001	1.00
	1.013	1.046	1.03
	1.513	1.466	0.97
	1.513	1.417	0.94
	1.971	1.927	0.98
	1.987	1.919	0.97
		平均 0.98±0.02	
700	0.989	1.596	1.61
	0.996	1.736	1.74
	1.008	1.566	1.55
	1.025	1.582	1.54
	1.249	1.960	1.57
	1.479	2.688	1.82
	1.513	2.485	1.64
	1.514	2.697	1.78
	1.934	3.444	1.78
	1.954	3.618	1.85
1.967	3.337	1.70	
		平均 1.69±0.10	
800	0.993	2.628	2.65
	0.999	2.612	2.62
	1.020	2.696	2.64
	1.239	3.227	2.60
	1.476	3.908	2.65
	1.499	3.888	2.59
	1.532	4.077	2.66
	1.532	4.242	2.77
	1.922	5.260	2.74
	1.967	5.145	2.62
2.008	5.007	2.50	
		平均 2.66±0.06	

第19.1.3表 LiF-BeF₂ (64-36mole%)中へのXe溶解度⁽³⁴⁾⁽³⁷⁾

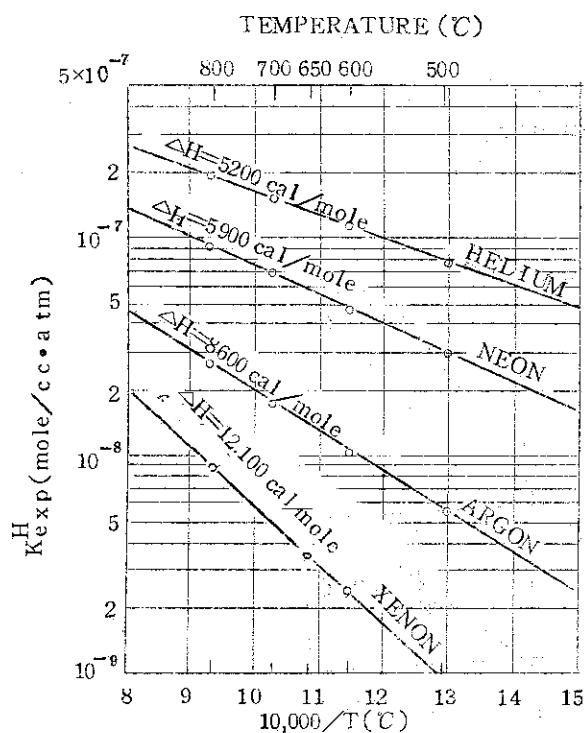
(第19.1.4図参照)

温度 (°C)	圧力 (atm)	溶解度 (10 ⁸ mole/cc)	K _{exp} ^H × 10 ⁸ (mole/cc · atm)
600	0.988	0.231	0.233
	1.487	0.343	0.231
	1.979	0.469	0.237
			平均 0.233 ± 0.002
650	1.030	0.330	0.321
	1.474	0.483	0.328
	1.962	0.687	0.350
			平均 0.333 ± 0.011
700	1.000	0.512	0.512
	1.483	0.782	0.527
	1.970	0.944	0.485
			平均 0.505 ± 0.020
800	1.020	0.897	0.880
	1.464	1.232	0.842
	1.954	1.697	0.863
			平均 0.863 ± 0.021

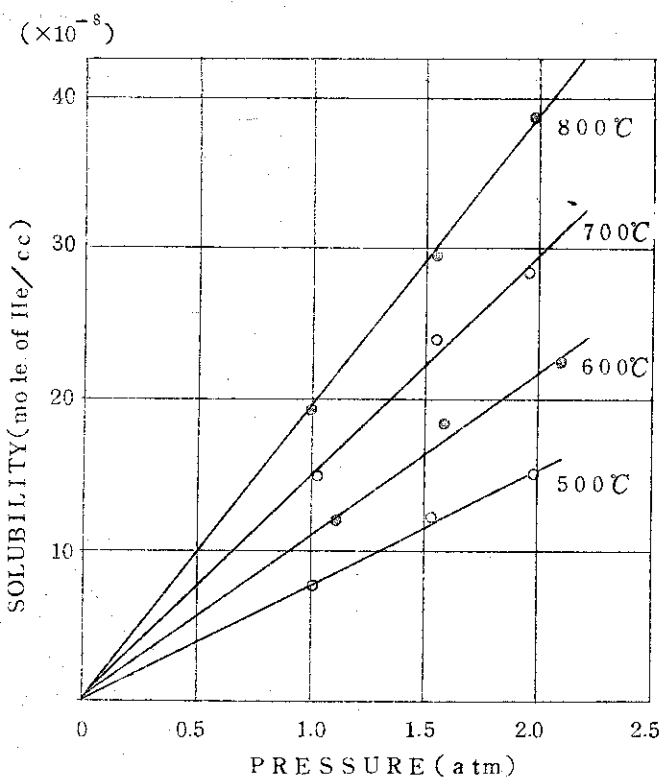
第19.1.4表 LiF-BeF₂ (64-36mole%)中へのNe溶解度⁽³⁴⁾⁽³⁷⁾

(第19.1.5図参照)

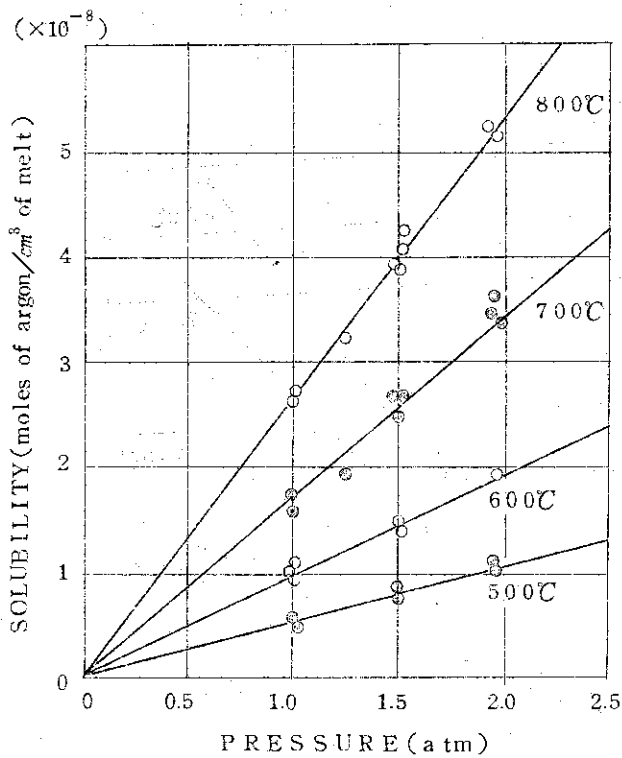
温度 (°C)	圧力 (atm)	溶解度 (10 ⁸ mole/cc)	K _{exp} ^H × 10 ⁸ (mole/cc · atm)
500	1.032	3.130	3.033
	1.030	3.025	2.963
	1.509	4.849	3.213
	2.010	6.327	3.142
			平均 3.088 ± 0.090
600	1.004	4.619	4.601
	1.497	6.939	4.635
	1.991	9.243	4.642
			平均 4.626 ± 0.013
700	1.021	6.852	6.711
	1.499	10.407	6.943
	1.983	13.387	6.751
			平均 6.802 ± 0.094
800	1.003	9.265	9.237
	1.509	13.451	8.914
	1.991	17.670	8.875
			平均 9.009 ± 0.152



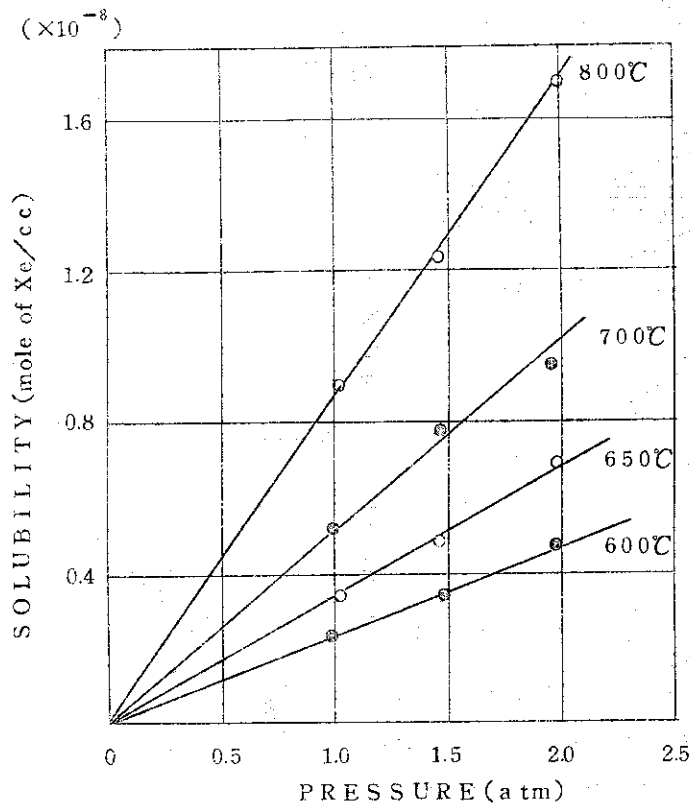
第19.1.1図 LiF-BeF₂ (64-36mole%)
中への希ガス溶解度に対するヘンリーの法則の定数の温度変化 (36)-(38)



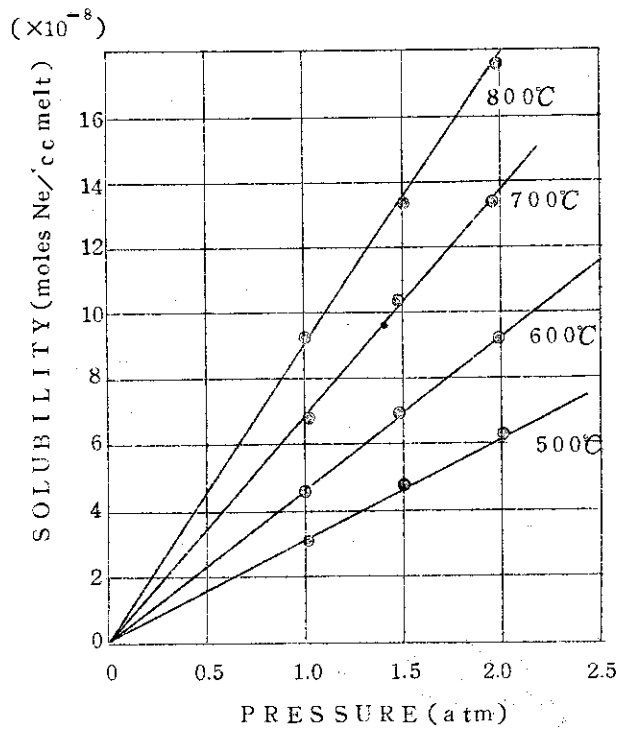
第19.1.2図 LiF-BeF₂ (64-36mole%)
中へのHe溶解度 (34)(37)



第19.1.3図 LiF-BeF₂ (64-36mole%)中へのAr溶解度 (35)



第19.1.4図 LiF-BeF₂ (64-36mole%) 中へのXe溶解度 (37)



第19.1.5図 LiF-BeF₂ (64-36mole%) 中へのNe溶解度 (36)

第19.1.5表 ヘンリーの法則(注1)の定数

測定値と計算値(注2)の比較(34)(37)

LiF-BeF₂ (64-36 mole%)

	温度 (℃)	$K_{\text{exp}}^{\text{H}}$ (10^8 mole/cc.atm)	$K_{\text{cal}}^{\text{H}}$ (10^8 mole/cc.atm)	$K_{\text{exp}}^{\text{H}} / K_{\text{cal}}^{\text{H}}$
He	500	7.49	53.50	0.14
	600	11.55	82.50	0.14
	700	14.93	114.85	0.13
	800	19.48	139.14	0.14
Ne	500	3.09	8.83	0.35
	600	4.63	17.15	0.27
	700	6.80	29.57	0.23
	800	9.01	45.05	0.20
Ar	500	0.54	0.39	1.4
	600	0.98	1.27	0.77
	700	1.69	3.19	0.53
	800	2.66	6.65	0.40
Xe	500	0.23	0.09	2.5
	600	0.33	0.24	1.4
	700	0.51	0.58	0.88
	800	0.86	1.54	0.56

(注1) ヘンリーの法則

可溶性の気体が液体と接しているとき、その溶解度は圧力に比例する。

(注2) ヘンリーの法則の定数の計算式

$$K_{\text{cal}}^{\text{H}} = \frac{1}{RT} \exp\left(-\frac{18.08 r^2 r}{RT}\right)$$

$$r = 235.5 - 0.09 t$$

Li₂BeF₄中への希ガス溶解に伴うエントロピー変化

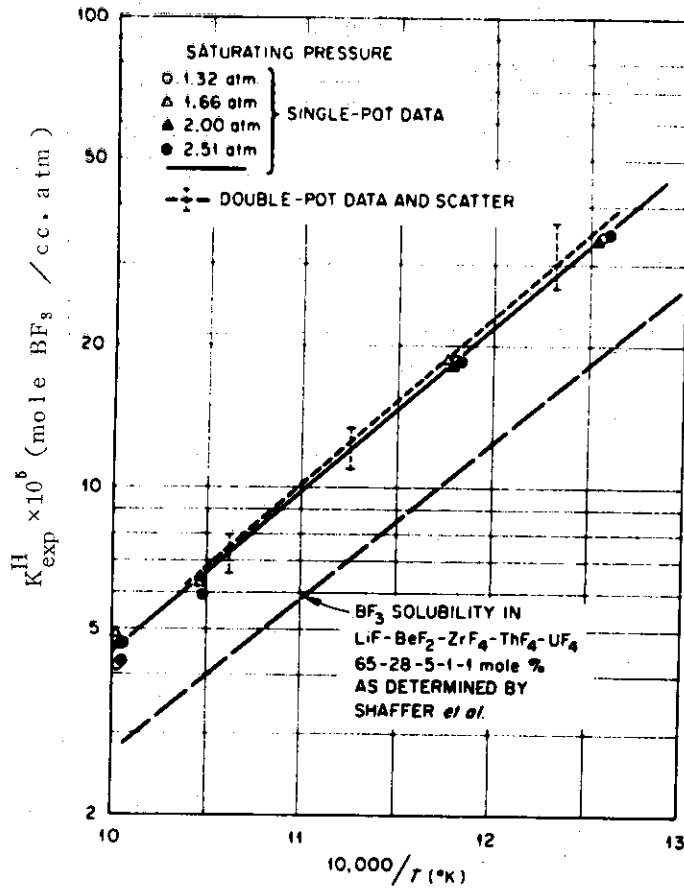
(ΔS)およびエンタルピー変化(ΔH)

$$\ln K_{\text{exp}}^{\text{H}} = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}$$

第19.1.6表 1000°KにおけるLiF-BeF₂ (64-36mole%)
 中への希ガス溶解に伴うエンタルピー (ΔH) およ
 びエントロピー変化 (ΔS) (37)

	ΔH Kcal/mole	$T\Delta S$ Kcal/mole	ΔS e.U.
He	5.2	8.6	-3.4
Ne	5.9	10.1	-4.2
Ar	8.6	12.8	-4.2
Xe	12.1	15.2	-3.1

19.2 BF₃⁽⁴⁰⁾-(42)



第19.2.1図 LiF-BeF₂ (66-34 mole%)中へのBF₃ 溶解度に対するヘンリーの法則の定数の温度変化⁽⁴⁰⁾

第19.2.1表 LiF-BeF₂ (66-34 mole%)中へのBF₃ 溶解度に対するヘンリーの法則の定数⁽⁴⁰⁾

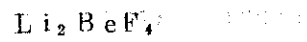
温度(°C)	K ^H _{exp} (mole BF ₃ /cc.atm)
500	4.6 × 10 ⁻⁴
600	1.4 × 10 ⁻⁴
700	0.56 × 10 ⁻⁴

Li₂BeF₄中へのBF₃ガス溶解に伴うエントロピー変化(ΔS)およびエンタルピー変化(ΔH)

ΔH = -18.5 Kcal.mole⁻¹

ΔS = -24.0 Kcal.mole⁻¹ °K⁻¹

「参考」 19.1と同様な方法で求めたヘンリーの法則の定数⁽⁴²⁾



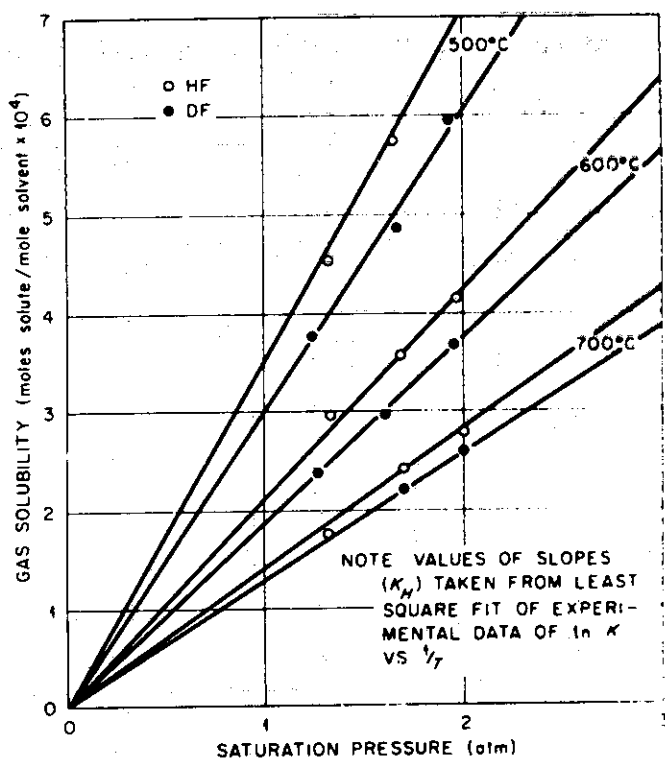
温度(°C)	$K_{\text{cal}}^{\text{H}}$ ($10^4 \text{ mole/cc} \cdot \text{atm}$)
500	3.2
600	1.0
700	0.38
800	0.18

19.3 HF, DF⁽⁴³⁾(45)第19.3.1表 LiF-BeF₂ (66-34mole%)中へのHF
溶解度⁽⁴³⁾

温度 (℃)	圧力 (atm)	溶解度 (10 ⁵ mole HF/cc)
500	1.32	2.68
	1.65	3.40
524	1.99	3.64
595	1.24	1.63
600	1.33	1.72
	1.68	2.06
	1.97	2.40
700	1.61	1.43
	1.98	1.77

第19.3.1表 LiF-BeF₂ (66-34mole%)中へのDF
溶解度⁽⁴³⁾

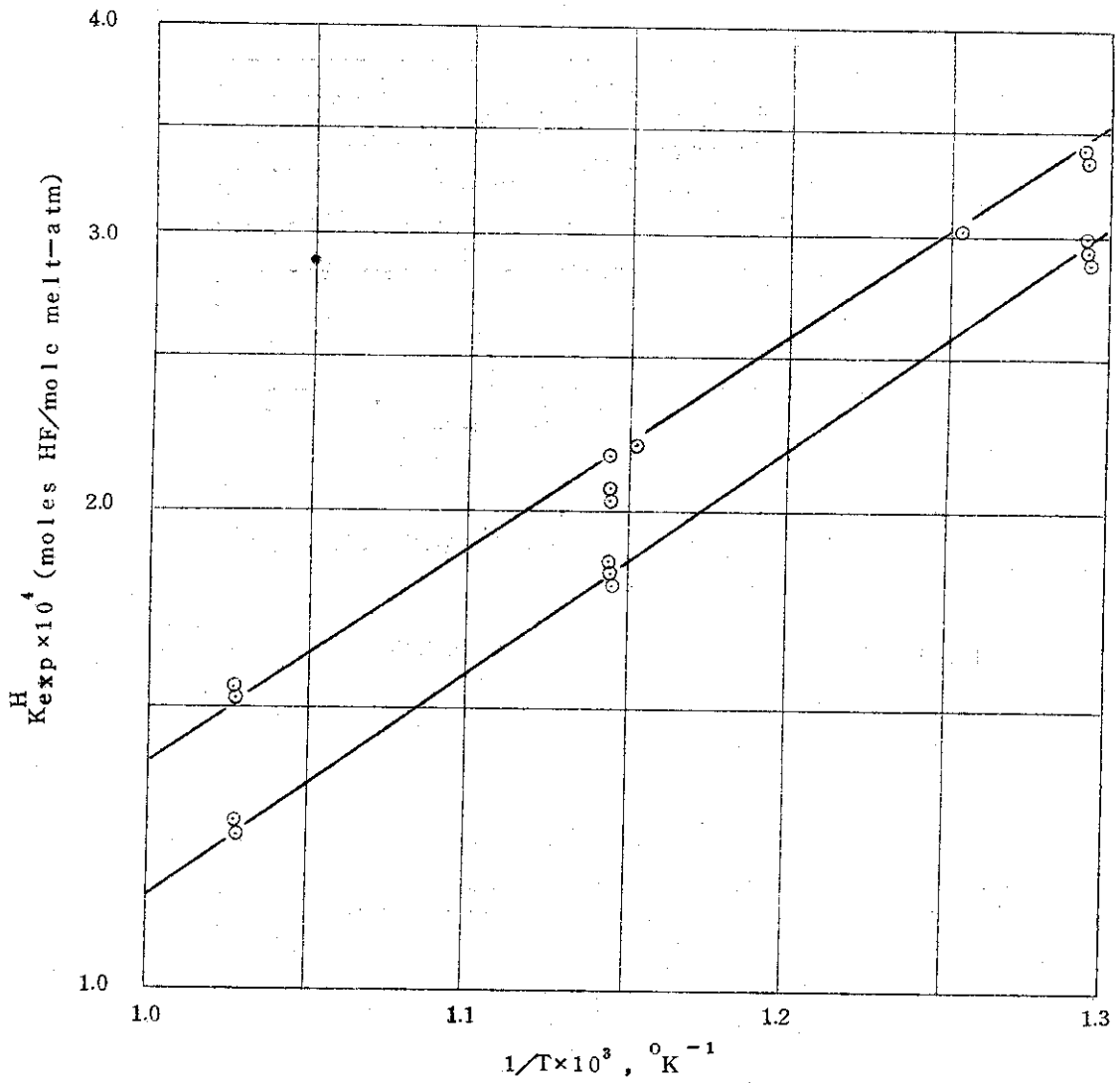
温度 (℃)	圧力 (atm)	溶解度 (10 ⁵ mole DF/cc)
500	1.24	2.21
	1.62	2.88
	1.93	3.52
600	1.27	1.37
	1.61	1.70
	1.96	2.13
700	1.70	1.25
	1.99	1.48



第19.3.1図 LiF-BeF₂ (66-34 mole%) 中へのHFおよびDF溶解度 (44)(45)

第19.3.3表 LiF-BeF₂ (66-34 mole%) 中へのHFおよびDF溶解度に対するヘンリーの法則の定数 (43)

温度 (°C)	K_{exp}^H (10^{-4} mole of solute/mole of melt.atm)	
	HF	DF
500	3.37±0.13	2.96±0.07
600	2.16±0.05	1.83±0.03
700	1.51±0.06	1.25±0.03

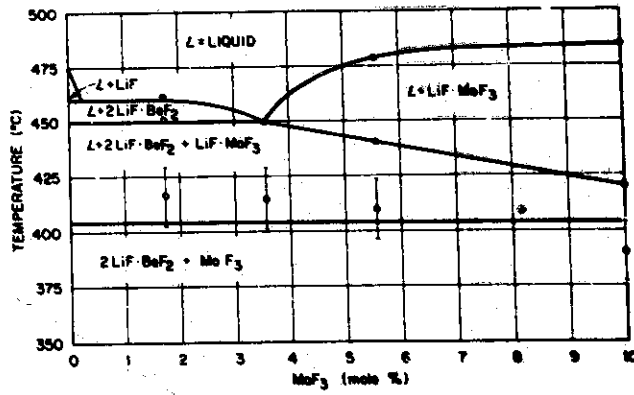


第19.3.2図 LiF-BeF₂ (66-34 mole%) 中へのHFおよびDF溶解度に対するヘンリーの法則の定数の温度依存性⁽⁴⁵⁾

第19.3.4表 600°CにおけるLiF-BeF₂ (66-34 mole%) 中へのHFおよびDF溶解に伴うエンタルピー変化(ΔH)およびエントロピー変化(ΔS)⁽⁴³⁾

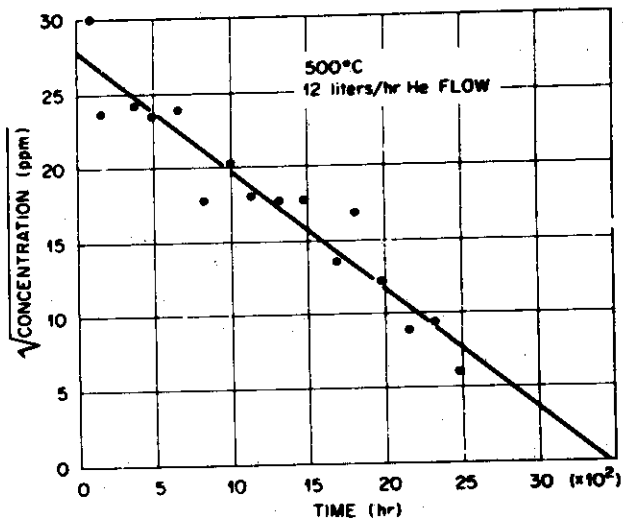
	HF	DF
ΔH(Kcal/mole)	-5.98±0.19	-6.43±0.11
ΔS(cal/deg·mole)	-7.07±0.26	-7.92±0.16

19.4 MoF₃, NbFx (46)-(52)



第19.4.1図 Li₂BeF₄-M·F₃系状態図 (46)

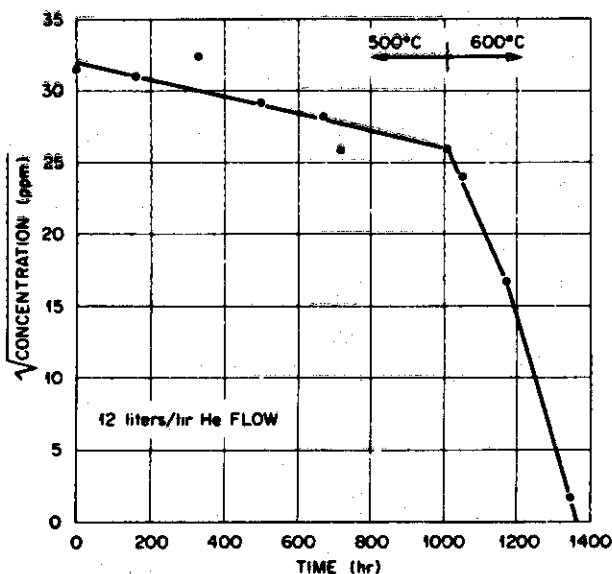
Li₂BeF₄中でのMo³⁺の安定性を第19.4.2図および第19.4.3図に示す。
Mo³⁺のLi₂BeF₄から離脱量は、ヘリウムガスの流量、容器の表面積、UF₄あるいはグラファイトの存在に依存しない。



第19.4.2図 Li₂BeF₄中に含まれるMo³⁺の時間変化 (47)

測定温度 500 °C

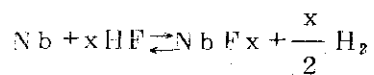
気相ヘリウム (流量 12 l/hr)



第19.4.3図 Li₂BeF₄中に含まれるMo³⁺の時間変化 (47)
 500°Cおよび600°Cでの比較
 ヘリウム流量12ℓ/hr

NbF_x (47)

NbF_xのLi₂BeF₄中における平衡



500°Cでは

$$P_{\text{HF}} / P_{\text{H}_2}^{1/2} \approx 10^{-4} \text{ atm}^{1/2}$$

$$x = 3.8 \pm 0.3$$

(Nb^{x+}濃度 340 ~ 2990 ppm)

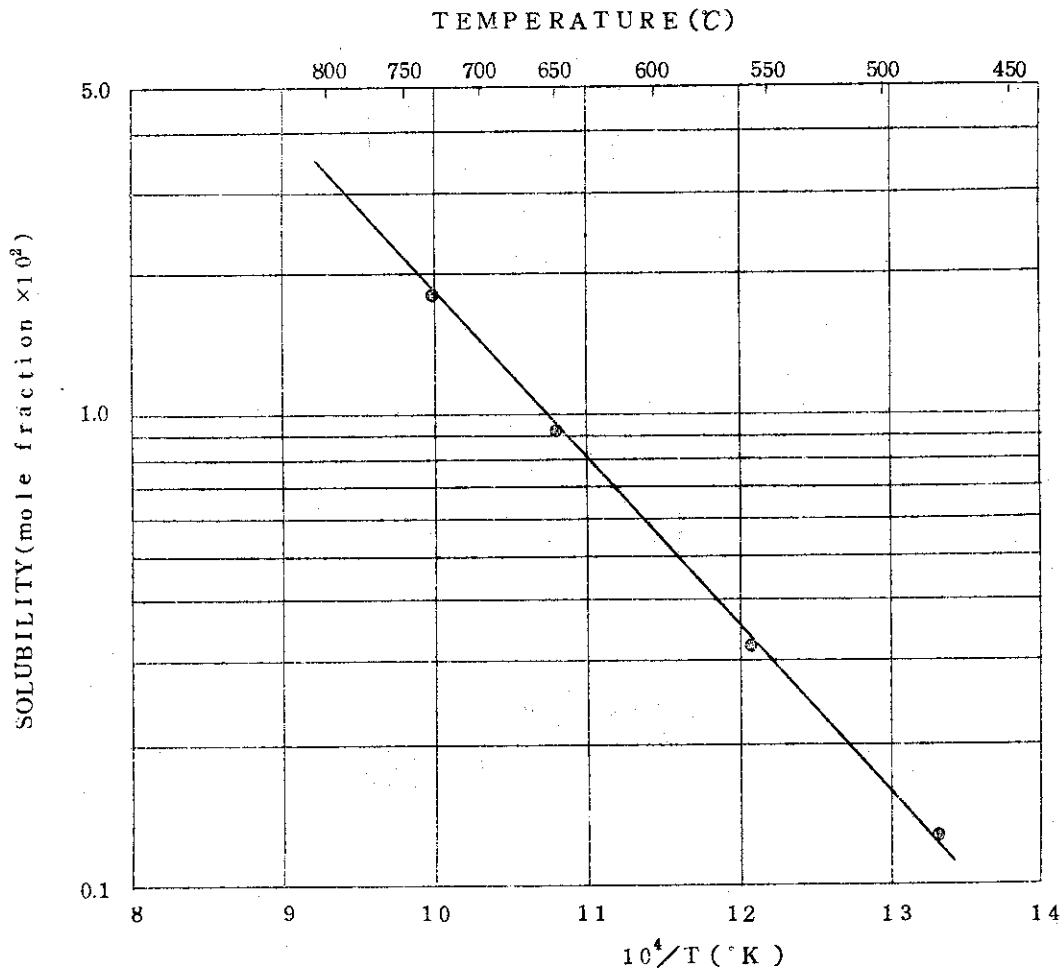
19.5 CeF_3 , LaF_3 , SmF_3 , NdF_3
 CeF_3 (53)(54)

第19.5.1表 $LiF-BeF_2$ (66-34mole%) 中の CeF_3 溶解度 (53)

Filtrate Temp. ($^{\circ}C$)	Filtrate Analysis	
	Ce(wt%)	CeF_3 (mole%)
729	6.96	1.79
656	3.72	0.92
556	1.34	0.322
476	0.535	0.127

第19.5.2表 $LiF-BeF_2$ (63-37mole%) 中の CeF_3 溶解度 (54)

温 度	Ce(wt%)	CeF_3 (mole%)
700	4.66	1.18
600	1.97	0.48
500	0.66	0.162

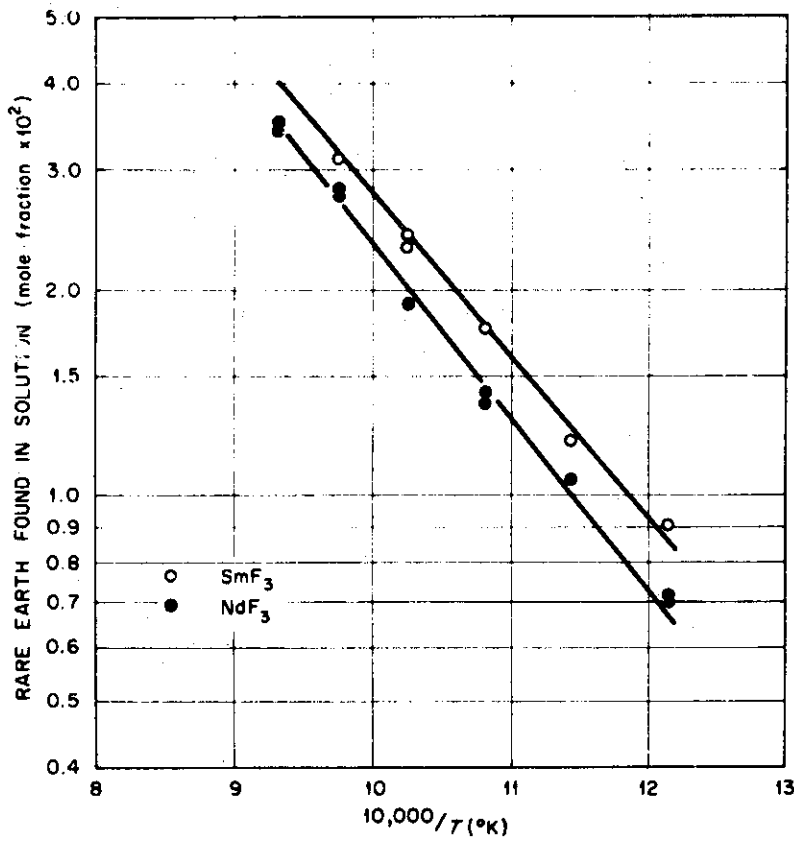


第19.5.1図 $LiF-BeF_2$ (66-34mole%) 中の CeF_3 溶解度 (53)

SmF_3 ⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁸⁾ NdF_3 ⁽⁵⁵⁾

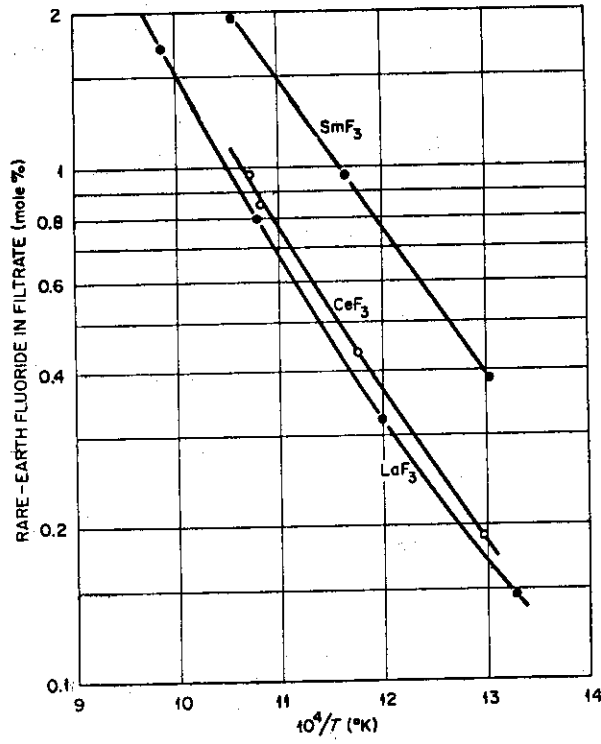
第19.5.3表 $\text{LiF}-\text{BeF}_2$ (67-33mole%)中の SmF_3 および NdF_3 溶解度 ⁽⁵⁵⁾

温度 (°C)	溶解度 (mole %)	
	SmF_3	NdF_3
600	0.013	0.010
700	0.024	0.019
800	0.040	0.035



第19.5.2図 $\text{LiF}-\text{BeF}_2$ (67-33mole%)中への SmF_3 および NdF_3 溶解度の温度依存性 ⁽⁵⁵⁾

「参考」 $\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{UF}_4$ (6.28-3.64-0.8 mole%) 中への CeF_3 , LaF_3 および SmF_3 の溶解度 (56)(58)(59)

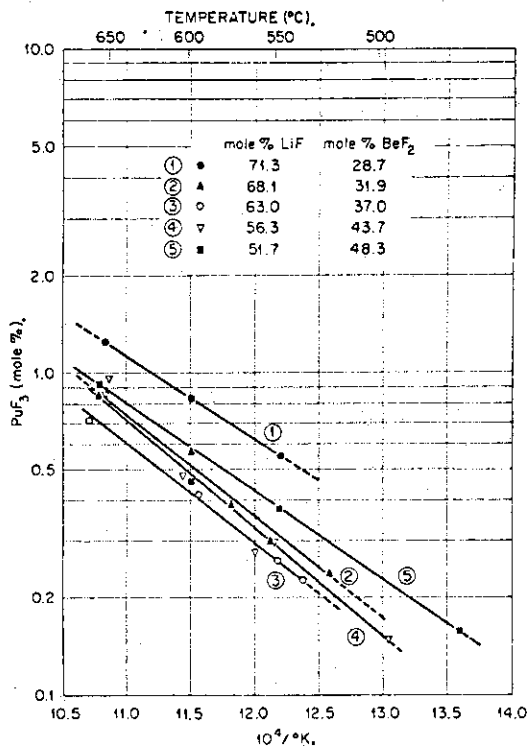


第19.5.3図 $\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{UF}_4$ (6.28-3.64-0.8 mole%) 中への CeF_3 , LaF_3 および SmF_3 溶解度の温度依存性

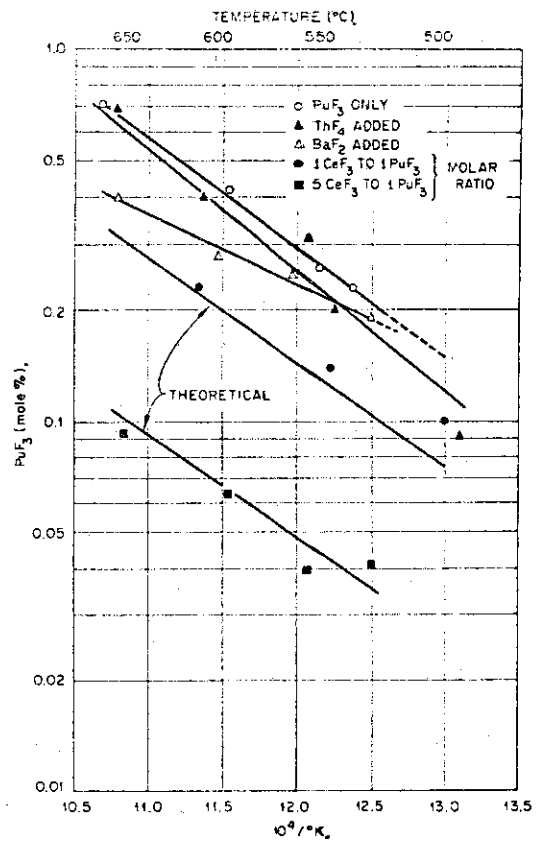
1 9.6 PuF₃ (60)-(66)

第1 9.6.1表 LiF-BeF₂ (66-34mole%) 中への PuF₃ 溶解度 (60)(61)(66)

温度(°C)	PuF ₃ 溶解度 (mole %)
502	0.158
522	0.223
540	0.268
574	0.385
595	0.460



第1 9.6.1図 LiF-BeF₂ 中への PuF₃ 溶解度の温度依存性 (64)



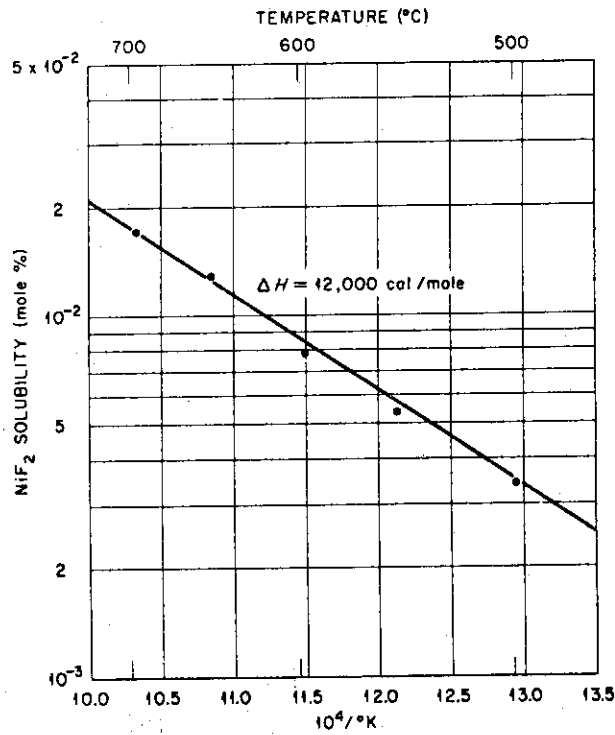
第1 9.6.2図 LiF-BeF₂ (63-37mole%) 中への PuF₃ 溶解度におよぼす他のフッ化物の影響 (64)

19.7 CrF_3 (67)
0.43 mole %

19.8 NiF_2 (68)

第19.8.1表 $\text{LiF}-\text{BeF}_2$ (61-39 mole%) 中への NiF_2 溶解度 (68)

温度(°C)	NiF_2 溶解度(mole %)
694	1.71
649	1.28
597	0.783
551	0.529
499	0.337



第19.8.1図 $\text{LiF}-\text{BeF}_2$ (61-39 mole%) 中への NiF_2 溶解度の温度依存性 (68)

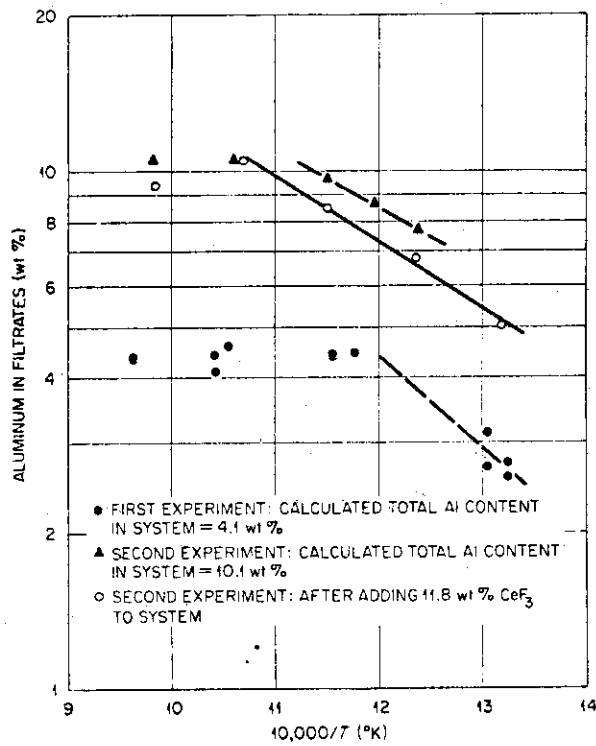
1 9.9 FeF_2 (69)

第19.9.1表 $LiF-BeF_2$ (6.7-33.3mole%) 中への Fe^{II} 溶解度 (69)

Fe ^{II} added (ppm)	Fe ^{II} found in filtrate (ppm)		
	700 °C	600 °C	500 °C
5000	4925	4835	4845
10000	9386	9125	9390
50000	49100*	41700	33100

* Saturation Phase : Pure FeF_2

1 9.1 0 AlF_3 (70)



第19.10.1図 $LiF-BeF_2-UF_4$ (6.28-36.4-0.8mole%) 中への AlF_3 溶解度 (70)

19.1.1 BeO (71)

LiF-BeF₂ 中への BeO 溶解度

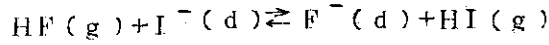
$$\log X_{O^{2-}} = -0.901 + 1.547 X_{BeF_2} - 26.25/T$$

X_{O²⁻}: O²⁻ 濃度 (ppm)

X_{BeF₂}: BeF₂ のモル比 (0.3~0.5)

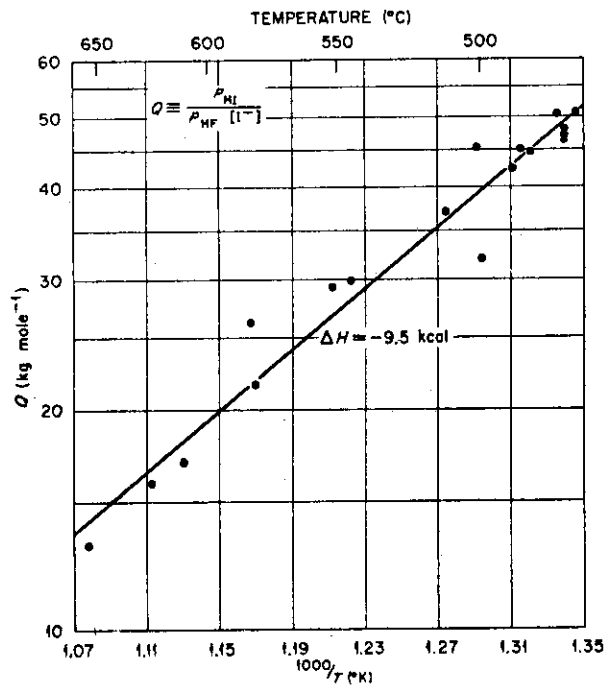
19.1.2 I (72)

Li₂BeF₄ 中の I⁻ は気相中の HF と平衡状態



にあり, その平衡定数 Q を次式で定義する。

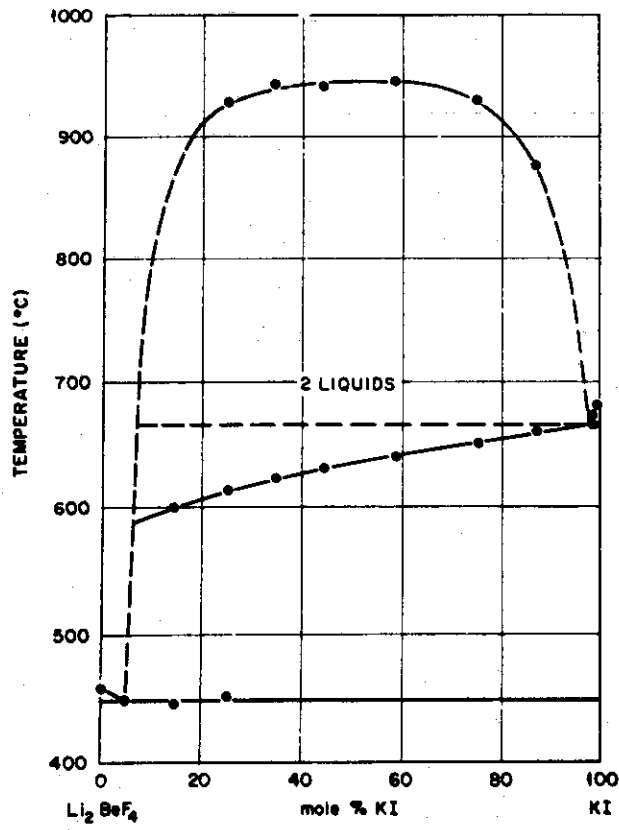
$$Q = P_{HI} / P_{HF} \cdot [I^-] \quad (\text{Kg/mole})$$



第19.1.2.1図 平衡定数Qの温度変化

$$\log Q = -1.094 + 2.079 \left(\frac{10^3}{T} \right)$$

19.13 KI (73)



第19.13.1図 Li_2BeF_4 -KI系の状態図 (73)

20. 第3成分の熱力学的データ (74)-(77)

第20.1表 Li_2BeF_4 中での生成熱 ($\Delta\bar{H}^f$) および生成自由エネルギー ($\Delta\bar{G}^f$) (76)

温度範囲 773-1000 °K

Solute	$-\Delta\bar{H}^f$ (Kcal)	$-\Delta\bar{G}^f$ (Kcal)	Estimated±Error (Kcal)
1 $\text{Li}^+ + \text{F}^-$	142.70	124.79	0.8
2 $\text{La}^{3+} + 3\text{F}^-$	405.5	351.8	7
3 $\text{Ce}^{3+} + 3\text{F}^-$	400.5	347.0	7
4 $\text{Sm}^{3+} + 3\text{F}^-$	389.5	337.5	7
5 $\text{Be}^{2+} + 2\text{F}^-$	242.75	211.80	1
6 $\text{Th}^{4+} + 4\text{F}^-$		424.0	5
7 $\text{Zr}^{4+} + 4\text{F}^-$	451.85	386.21	1.7
8 $\text{U}^{4+} + 4\text{F}^-$	444.61	386.48	1.8
9 $\text{U}^{3+} + 3\text{F}^-$	336.73	296.19	1.8
10 $\text{Cr}^{2+} + 2\text{F}^-$	171.82	150.41	0.9
11 $\text{Fe}^{2+} + 2\text{F}^-$	154.69	132.92	0.8
12 $\text{Ni}^{2+} + 2\text{F}^-$	146.87	110.61	0.8
13 $\text{Be}^{2+} + \text{O}^{2-}$	131.91	105.10	0.6
14 $\text{Be}^{2+} + 2\text{OH}^-$	170.54	159.35	0.7
15 $\text{Be}^{2+} + 2\text{I}^-$	96.46	63.56	1
16 $\text{Be}^{2+} + \text{S}^{2-}$		<79 (873°K)	

第20.2表 LiF-BeF₂ (67-33mole%) 中の平衡定数⁽⁷⁷⁾

[log K = a + b (10³/T)]

A. 水素を含む還元反応

	K	a	b	Est. ± Error in log K
1. H ₂ (g) + NiF ₂ (d) ⇌ Ni(s) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² / (P _{H₂} (X _{NiF₂}))	8.37	-3.60	0.04
2. H ₂ (g) + FeF ₂ (d) ⇌ Fe(s) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² / (P _{H₂} (X _{FeF₂}))	5.20	-5.31	0.02
3. H ₂ (g) + CrF ₂ (d) ⇌ Cr(s) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² / (P _{H₂} (X _{CrF₂}))	5.12	-9.06	0.06
4. 1/2H ₂ (g) + UF ₄ (d) ⇌ UF ₃ (d) + HF(g)	(P _{HF}) (X _{UF₃}) / (P _{H₂} ^{1/2}) (X _{UF₄})	4.07	-9.33	0.02
5. H ₂ (g) + BeF ₂ (d) ⇌ Be(s) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² / (P _{H₂})	7.21	-21.56	0.1

B. ガスを含む置換反応

6. H ₂ O(g) + BeF ₂ (d) ⇌ BeO(s) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² / (P _{H₂O})	4.23	-5.67	0.02
7. 2H ₂ O(g) + ZrF ₄ (d) ⇌ ZrO ₂ (s) + 4HF(g)	(P _{HF}) ⁴ / (P _{H₂O}) ² (X _{ZrF₄})	11.21	-10.66	0.04
8. H ₂ O(g) + 2F ⁻ (d) ⇌ O ²⁻ (d) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² (X _{O²⁻}) / (P _{H₂O})	4.20	-8.64	0.08
9. H ₂ O(g) + F ⁻ (d) ⇌ OH ⁻ (d) + HF(g)	(P _{HF}) (X _{OH⁻}) / (P _{H₂O})	-1.03	-2.08	0.04
10. H ₂ S(g) + 2F ⁻ (d) ⇌ S ²⁻ (d) + 2HF(g)	(P _{HF}) ² (X _{S²⁻}) / (P _{H₂S})	log K(873 K) < -4		
11. HI(g) + F ⁻ (d) ⇌ I ⁻ (d) + HF(g)	(P _{HF}) (X _{I⁻}) / (P _{HI})	log K(763 K) ≤ -3		

C. 酸化物を含む置換反応

12. ZrO ₂ (s) + 2BeF ₂ (d) ⇌ ZrF ₄ (d) + 2BeO(s)	X _{ZrF₄}	-2.75	-0.69	0.05
13. UO ₂ (s) + 2BeF ₂ (d) ⇌ UF ₄ (d) + 2BeO(s)	X _{UF₄}	-2.07	-1.74	0.07
14. ZrO ₂ (s) + UF ₄ (d) ⇌ ZrF ₄ (d) + UO ₂ (s)	(X _{ZrF₄}) / (X _{UF₄})	-0.67	1.05	0.05
15. ThO ₂ (s) + UF ₄ (d) ⇌ ThF ₄ (d) + UO ₂ (s)	(X _{ThF₄}) / (X _{UF₄})	log K(1023 K) ≈ 1.2		

D. 溶解反応

	K	a	b	Est. ± Error in log K
16. BeO(s) ⇌ Be ²⁺ (d) + O ²⁻ (d)	X _{O²⁻}	-0.04	-2.96	0.08
17. ZrO ₂ (s) ⇌ Zr ⁴⁺ (d) + 2O ²⁻ (d)	(X _{Zr⁴⁺}) (X _{O²⁻}) ²	-2.82	-6.62	0.09
18. UO ₂ (s) ⇌ U ⁴⁺ (d) + 2O ²⁻ (d)	(X _{U⁴⁺}) (X _{O²⁻}) ²	-2.15	-7.66	0.1
19. ThO ₂ (s) ⇌ Th ⁴⁺ (d) + 2O ²⁻ (d)	(X _{Th⁴⁺}) (X _{O²⁻}) ²	log K(1023 K) ≈ -8.6		
20. NiO(s) ⇌ Ni ²⁺ (d) + O ²⁻ (d)	(X _{Ni²⁺}) (X _{O²⁻})	-2.58	-4.39
21. FeO(s) ⇌ Fe ²⁺ (d) + O ²⁻ (d)	(X _{Fe²⁺}) (X _{O²⁻})	-0.52	-4.12
22. NiF ₂ (s) ⇌ NiF ₂ (d)	X _{NiF₂}	0.30	-2.07	0.01
23. FeF ₂ (s) ⇌ FeF ₂ (d)	X _{FeF₂}	2.15	-3.05	0.01
24. LaF ₃ (s) ⇌ LaF ₃ (d)	X _{LaF₃}	1.58	-3.38	0.02
25. CeF ₃ (s) ⇌ CeF ₃ (d)	X _{CeF₃}	1.64	-3.38	0.02
26. SmF ₃ (s) ⇌ SmF ₃ (d)	X _{SmF₃}	1.97	-3.38	0.02
27. PuF ₃ (s) ⇌ PuF ₃ (d)	X _{PuF₃}	1.30	-3.15

(注1) 記号(s), (d)および(g)はそれぞれ固体, 溶解および気体状態を表わす。

(注2) P_i; 圧力(atm)

X_i; モル比

(注3) エンタルピー変化; ΔH = -2.3 R b

エントロピー変化; ΔS = 2.3 R a

A 参 考 文 献

ORNL-quarterly, semiannual, annual report

Molten Salt Reactor Program, quarterly progress report

- (a) ORNL-2474 period ending Jan.31, 1958
 (b) ORNL-2551 period ending June 30, 1958
 (c) ORNL-2626 period ending Oct.31, 1958

Molten Salt Reactor Program, semiannual progress report

- (d) ORNL-3122 period ending Feb.28, 1961
 (e) ORNL-3708 period ending July 31, 1964
 (f) ORNL-3812 period ending Feb.28, 1965
 (g) ORNL-4254 period ending Feb.29, 1968
 (h) ORNL-4344 period ending Aug.31, 1968
 (i) ORNL-4396 period ending Feb.28, 1969
 (j) ORNL-4449 period ending Aug.31, 1969
 (k) ORNL-4548 period ending Feb.28, 1970
 (l) ORNL-4622 period ending Aug.31, 1970

Reactor Chemistry Division, annual progress report

- (m) ORNL-2931 period ending Jan.31, 1960
 (n) ORNL-3591 period ending Jan.31, 1964
 (o) ORNL-3789 period ending Jan.31, 1965
 (p) ORNL-3913 period ending Dec.31, 1965
 (q) ORNL-4076 period ending Dec.31, 1966
 (r) ORNL-4229 period ending Dec.31, 1967
 (s) ORNL-4586 period ending May 31, 1970

そ の 他

- (t) ORNL-3900 period ending Mar.31, 1965
 (u) ORNL-4581 period ending May 20, 1970

B. 引 用 文 献

- (1) Thoma, R.E., Insley, H., Friedman, H.A. and Herbert, G.M. : J.Nucl. Mat., 27, 166 (1968)
 (2) Levin, E.M., Robbins, C.R. and McMurdie, H.F. : "Phase Diagrams for Ceramists" The American Ceramic Society, 420 (1964)
 (3) Jones, L.V., Bitter, D.E., Hudgens, C.R., Huffman, A.A., Rhinehammer, T.B., Rogers, N.E., Tucker, P.A. and Wittenberg, L.J. : J.Am.Ceram.Soc., 45, 80 (1962)
 (4) Roy, D.M., Roy, R. and Osborn, E.F. : J.Am.Ceram.Soc., 37, 300 (1954)

- (5) Romberger, K.A. and Braunstein, J. : 文献(k), PP.164
- (6) 文献(t), PP115
- (7) Burns, J.H. and Gorden, E.K. : 文献(o), PP30
- (8) Cantor, S. : 文献(i), PP174
- (9) Strum, B.J. and Thoma, R.E. : 文献(o), PP83
- (10) Strum, B.J. and Thoma, R.E. : 文献(p), PP51
- (11) Blankenship, F.F. and Cantor, S. : 文献(a), PP91
- (12) Cantor, S. : ORNL-TM-2316, 30 (1968)
- (13) Strum, B.J. and Thoma, R.E. : 文献(o), PP83
- (14) Cantor, S. : ORNL-TM-2316, 32 (1968)
- (15) Cantor, S. : 文献(q), PP24
- (16) ORNL-TM-2316, 43 (1968)
- (17) Cantor, S. and Ward, W.T. : 文献(p), PP27
- (18) 文献(f), PP144
- (19) Grimes, W.R. : 文献(e), PP234
- (20) Cantor, S. : ORNL-TM-2316, 8 (1968)
- (21) ORNL-TM-2316, 44 (1968)
- (22) Kreyger, P.J., Kirslis, S.S. and Blankenship, F.F. : 文献(n), PP38
- (23) Strum, B.J. : 文献(c), PP94
- (24) Cooke, J.W. and Cantor, S. : ORNL-TM-2316, 36 (1968)
- (25) Dworkin, A.S. : ORNL-TM-2316, 22 (1968)
- (26) Douglas, T.B. and Payne, W.H. : Natl. Bur. Std. Report *№* 8186, 75
- (27) Douglas, T.B. and Payne, W.H. : J. Res. Nat. Bur. Stand. A-Phys. and Chem. 73A 479 (1969)
- (28) Cohen, S.I., Powers, W.D. and Greene, N.D. : ORNL-2150 (1956)
- (29) Hoffman, H.W. and Cooke, J.W. : ORNL unpublished measurement (ORNL-TM-2316)
- (30) 文献(d), PP138
- (31) Robbins, G.D. and Brauenstein, J. : 文献(k), PP156, 文献(j), PP141
- (32) Robbins, G.D. and Brauenstein, J. : 文献(g), PP144
- (33) Quist, A.S., Bates, J.B. Jr. and Boyd, G.E. : 文献(u), PP166
- (34) Smith, N.V. : 文献(b), PP88
- (35) Smith, N.W. : 文献(c), PP83
- (36) Smith, N.V., Watson, G.M., Sheil, R.J., Evans, R.B. and Grimes, W.R. : 文献(m), PP29
- (37) Watson, G.M., Evans, R.B., Grimes, W.R. and Smith, N.V. : J. Chem. Eng. Data, 7, 285 (1962)
- (38) McDuffie, H.F. : 文献(e), PP308

- (39) Watson, G.M. : ORNL-TM-2316, 38 (1968)
- (40) Cantor, S. and Ward, W.T. : 文献(l), PP78
- (41) Cantor, S. and Ward, W.T. : 文献(s), PP30
- (42) Watson, G.M. : ORNL-TM-2316, 38 (1968)
- (43) Field, P.E. and Shaffer, J.H. : J. Phys. Chem., 71, 3218 (1967)
- (44) Field, P.E. and Shaffer, J.H. : 文献(p), PP33
- (45) Field, P.E. and Shaffer, J.H. : ORNL-P-2202 (1966)
- (46) Weaver, C.F., Gooch, J.W., Friedman, H.A. and Redman, J.D. : 文献(i),
PP157
- (47) Weaver, C.F., Fried, H.A. and Gill, J.S. : 文献(l), PP71
- (48) Weaver, C.F., Friedman, H.A. and Hess, D.N. : 文献(r), PP36
- (49) Weaver, C.F. and Friedman, H.A. : 文献(k), PP124
- (50) Weaver, C.F., Friedman, H.A. and Hess, D.N. : 文献(h), PP154
- (51) Weaver, C.F., Friedman, H.A. and Grimm, F.A. : 文献(j), PP115
- (52) Strehlow, R.A. and Redman, J.D. : 文献(g), PP134
- (53) Ward, W.T. : 文献(a), PP94
- (54) Ward, W.T. : 文献(b), PP90
- (55) Doss, F.A., Blankenship, F.F. and Shaffer, J.H. : 文献(r), PP39
- (56) Ward, W.T. : 文献(c), PP87
- (57) Ward, W.T., Strehlow, R.A., Grimes, W.R. and Watson, G.M. : ORNL-
2749, 3 (1959)
- (58) Strehlow, R.A., Watson, G.M., Ward, W.T. and Grimes, W.R. : 文献(m),
PP77
- (59) McDuffie, H.F. : 文献(d), PP308
- (60) Barton, C.J. and Strehlow, R.A. : 文献(a), 88
- (61) Barton, C.J., Grimes, W.R. and Strehlow, R.A. : ORNL-2530 (1958)
- (62) Barton, C.J. and Strehlow, R.A. : 文献(b), PP86
- (63) Barton, C.J. and Strehlow, R.A. : 文献(c), PP80
- (64) Barton, C.J. : J. Phys. Chem. 64 306 (1960)
- (65) McDuffie, H.F. : 文献(e), PP306
- (66) Mailen, J.C. and Smith, F.J. : 文献(j), PP219
- (67) Bamberger, C.E., Young, J.P. and Baes, C.F. Jr. : 文献(r), PP62
- (68) Blood, C.M. : 文献(b), PP94
- (69) Sheil, R.J. : 文献(a), PP107
- (70) Ward, W.T., Strehlow, R.A., Grimes, W.R. and Watson, G.M. : ORNL-
2749, 7 (1959)
- (71) Hitch, B.F. and Baes, C.F. Jr. : 文献(q), PP19
- (72) Freasier, B.F., Baes, C.F. Jr. and Stone, H.H. : 文献(p), PP38

- (73) Dworkin, A.S. and Biedig, M.A. : 文献(i), PP172
- (74) Hitch, B.F. and Baes, C.F.Jr. : ORNL-4257 (1968)
- (75) Mathews, A.L., Kemp, M.K. and Baes, C.F.Jr. : 文献(n), PP48
- (76) Baes, C.F.Jr. : 文献(p), PP21
- (77) Baes, C.F.Jr. : ORNL-P-1428 (1965)
- (78) Strehlow R.A. and Redman, J.D. : 文献(o), PP83