

B₂O₃-Fe₂O₃-RO (R=Ba, Sr, Ca, Zn) 系 ガラスの磁氣的性質

矢田部俊一*・中村 秀樹**・廣末 孝行***
平野 泰隆****・横道 正克*****

The Magnetic Susceptibilities of B₂O₃-Fe₂O₃-RO (R : Ba, Sr, Ca, Zn) System Glasses

Shun-ichi YATABE, Hideki NAKAMURA, Takayuki HIROSUE,
Yasutaka HIRANO and Masakatsu YOKOMICHI

Abstract

The magnetic properties of B₂O₃-Fe₂O₃-RO (R : Ba, Sr, Ca, Zn) system of glasses were studied in this paper.

The glasses in this system were melted in electric furnace, about 1300°C, five hours.

The melted glasses were powdered into particles of 80 meshes by agate mortar.

The magnetic susceptibilities of the glasses were measured by Gouy method.

The results are as follows.

- 1) The magnetic susceptibilities are about $10-30 \times 10^6 \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, and are approximately equal to the susceptibility of Fe₂O₃ : $20.6 \times 10^6 \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ (18°C)
- 2) The susceptibilities are proportional to the contents of Fe₂O₃ mol in glasses and don't depend on the contents and species of other components in glasses.

1. 緒 言

Fe₂O₃を含有するガラスは常磁性を有し、高い電気伝導度を有することが知られている。ガラスの磁化率の測定をグイ法で行ない、磁化率と組成との関係を考察した。

2. ガラス試料の製作

2・1 ガラスの組成

本実験に用いたガラスの組成を表1に示す。

Table 1—1 Composition of glasses in
B₂O₃-Fe₂O₃-BaO (CaO) system (mol %)

Glass No.	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	BaO (CaO)
1	75	5	20
2	70	5	25
3	65	5	30
4	60	5	35
5	55	5	40
6	70	10	20
7	65	10	25
8	60	10	30
9	55	10	35
10	50	10	40

* 工業化学科
** 早川ゴムKK
*** 山口県庁
**** 月星化成KK
***** 新山光石油KK

Table 1-2 Composition of glasses in

B ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ -SrO system (mol %)			
Glass No.	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SrO
1	75	5	20
2	60	5	35
3	55	5	40
4	70	10	20
5	55	10	35
6	50	10	40

Table 1-3 Composition of glasses in

B ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ -ZnO system (mol %)			
Glass No.	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ZnO
1	65	5	30
2	60	5	35
3	55	5	40
4	55	10	35
5	50	10	40
6	45	10	45

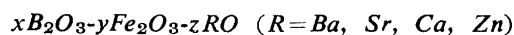
2.2 試料

本実験に用いた試料を下記に示す。これらは、すべて固体粉末、Fe₂O₃ 以外1級試薬。

H₃BO₃, BaCO₃, SrCO₃, CaCO₃, ZnO および Fe₂O₃ (戸田工業製99.99%)

2.3 調合

ガラス原料の調合計算は下記の如く定め、重量百分率で示す。



$$x+y+z=100\text{mol}$$

$$B_2O_3 = \frac{x \times 2 H_3BO_3}{x \times 2 H_3BO_3 + y \times Fe_2O_3 + z \times RCO_3(ZnO)} \times 100$$

$$Fe_2O_3 = \frac{y \times Fe_2O_3}{x \times 2 H_3BO_3 + y \times Fe_2O_3 + z \times RCO_3(ZnO)} \times 100$$

$$RO = \frac{z \times RCO_3(ZnO)}{x \times 2 H_3BO_3 + y \times Fe_2O_3 + z \times RCO_3(ZnO)} \times 100$$

ここに、H₃BO₃, Fe₂O₃ および RCO₃(ZnO) はそれぞれの分子量を示す。

2.4 ガラスの溶融

ガラス原料約80gを調合し、ガラス乳鉢で十分混合したのち高アルミナルツポに入れ、炭化珪素発熱体使用の電気炉中で加熱溶融し、とけたガラスをステン

レス板上に流しだしてガラスを作った。

2.5 測定試料

ガラスをボールミルで粉碎し、標準フルイで80 mesh以上の粒度のガラス粉末にフルイ分け、これを測定試料とした。この試料を内径10mmの試験管に、高さ8cm(約11g)になるように均一に詰めて測定する。

3. 磁化率の測定

3.1 磁化率

帯磁率(磁化率) x_m は下式で定義される¹⁾。

$$x_m = \frac{\mu}{\mu_0} - 1$$

ここに、 $\mu_0/wbA^{-1} m^{-1}$; 真空の透磁率
($4\pi \times 10^{-7}$)

$\mu/wbA^{-1} m^{-1}$; 物質の透磁率

さらに

磁場の強さ H/Am^{-1}

磁化 M/Am^{-1}

磁束密度 $B/wbm^{-2} = 10^{-4}T$

との間には下式が成立する。

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_0} - M \quad (\text{rational system})$$

$$\therefore x_m = \frac{\mu}{\mu_0} - 1 = \frac{M}{H}$$

また質量帯磁率(磁化率) x は下式で定義される。

$$x = \frac{x_m}{4\pi\rho} / \text{cm}^3\text{g}^{-1} \dots \dots \text{Irrational}^{2)}$$

$$(x' = x_m/\rho \quad \dots \dots \text{national})$$

ここに $\rho = \text{gcm}^{-3}$; 物質の密度

今、密度 ρ/gcc^{-1} , 体積 v/cc の物質を垂直方向におき、これに平行な磁束密度 B を加えると、この物質に働く磁氣的力 F/Newton は、下式で与えられる。

$$F = -Nvm \frac{\partial B}{\partial Z}$$

ここに $m/Jwb^{-1}m^{-2}$; 磁気モーメント

N/m^{-3} ; この物質単位体積中に含まれる磁気モーメントの数

さらに磁化 M と磁気モーメント m との間には下式が成立する。

$$m = NM$$

$$\therefore F = -Nvm \frac{\partial B}{\partial Z} = -4\pi wx \mu H \frac{\partial H}{\partial Z}$$

ここに W/kg ; 物質の質量

上式の磁氣的力 F に釣合う分銅の質量を ω/kg とすれば、

$$g\omega = 4\pi w\chi\mu H \frac{\partial H}{\partial Z}$$

ここに g/ms⁻²; 重力の加速度

$$g\omega \Delta Z = 4\pi w\chi\mu H \frac{\partial H}{\partial Z} \Delta Z$$

上式を資料の全長 l/m にわたり積分すれば

$$\int_0^l g\omega dz = 4\pi w\chi\mu \int_{H_0}^H HdH$$

$$g\omega l = 4\pi w\chi\mu \frac{1}{2} (H^2 - H_0^2)$$

$$\therefore x = \frac{g\omega l}{2\pi\mu(H^2 - H_0^2)W}$$

$$= \frac{\mu_0 g\omega l}{2\pi(B^2 - B_0^2)W}$$

x は 0 (10⁻⁶) であるから μ/μ₀ - 1 = x ≃ 0

とみなして μ = μ₀ とおくことができる。

$$\therefore x = \frac{\mu_0 g\omega l}{2\pi(B^2 - B_0^2)W} = k' \frac{\omega l}{W}$$

$$= \frac{g\omega l}{2\pi\mu_0(H^2 - H_0^2)W} = k' \frac{\omega l}{W}$$

ここに

$$k = \frac{g}{2\pi\mu_0(H^2 - H_0^2)}$$

$$k' = \frac{\mu_0 g}{2\pi(B^2 - B_0^2)}$$

故に x₀ 既知の物質の帯磁率を用いて k を求めれば, l, ω, w を測定して, x 未知の物質の帯磁率を求めることができる。磁場及び l を一定とすれば、

$$\frac{x}{x_0} = \frac{\omega/W}{\omega_0/W_0} \quad (2 \cdot 1)$$

3・2 操 作

標準試料として塩化マンガンを用い、これを乾燥粉砕し、試験管に密にしかも均一に詰める。試料の体積は常時 6 cm³ とし質量を測定しておく。これをグイ天秤より木綿糸でつり、試験管が鉛直になるように下に鉛のおもりをつるす。管の中央部がほぼ磁場最大の位置になるように木綿糸の長さを調節する。常磁性磁化率が大きい試料の場合には、磁場をかけたときに試験管が磁極に引きつけられて接触することがあるから、注意が必要である。位置が決定したら、この位置で磁場がないときの全質量を測定する。次に電磁石に 4 A の電流を流し、飽和磁化になるように磁場を増加させ、この状態で再び質量を測定する。磁場が零のときと、磁場が H₁ を加えたときとの質量差を測定する。

標準試料 MnCl₂ の磁化率は、x = 107.0 × 10⁻⁶ cm³g⁻¹(24°C) である。次にガラス粉末試料を試験

管に密に、均一に詰める。

以後の操作は塩化マンガンの場合と同様である。以上の測定値より (2・1) 式を用い、試料の磁化率 x が求められる。

4. 実 験 結 果

ガラス試料の磁化率 x(cm³g⁻¹) を Table 2~5 に示す。

Magnetic susceptibility of glass x
Table 2 B₂O₃-Fe₂O₃-BaO system

Glass No.	x × 10 ⁶ (cm ³ g ⁻¹)
1	15.17
2	14.27
3	13.76
4	13.41
5	11.59
6	22.40
7	23.29
8	20.40
9	19.53
10	19.68

Table 3 B₂O₃-Fe₂O₃-SrO system

Glass No.	x × 10 ⁶ (cm ³ g ⁻¹)
1	16.69
2	13.91
3	14.54
4	26.06
5	25.68
6	24.99

Table 4 B₂O₃-Fe₂O₃-CaO system

Glass No.	x × 10 ⁶ (cm ³ g ⁻¹)
1	17.96
2	17.23
3	16.34
4	15.88
5	16.54
6	26.31
7	25.35
8	26.88
9	27.73
10	26.87

Table 5 B₂O₃-Fe₂O₃-ZnO system

Glass No.	$\chi \times 10^6 (\text{cm}^3 \text{g}^{-1})$
1	15.99
2	15.06
3	16.25
4	29.44
5	26.76
6	26.52

5. 考 察

5・1 磁化率と組成との関係

Fe₂O₃ の mol によって磁化率が影響されることを考慮して Fe₂O₃ 5 mol と 10 mol の場合の各ガラスの磁化率の平均値の等磁化率曲線および磁化率と RO mol との関係をもそれぞれの系について、Fig. 1 ~ 4 に描いた。

1) B₂O₃-Fe₂O₃-BaO 系

Fe₂O₃ 5 mol の場合、10 mol の場合、ともに等磁化率曲線は Fe₂O₃ の等 mol 線に沿って描かれる。Fe₂O₃ 5 mol では、B₂O₃ mol に比例している。Fe₂O₃ 10 mol では、B₂O₃ 65 mol 付近で極小値をもっている。Fe₂O₃ 10 mol の磁化率は、Fe₂O₃ 5 mol の場合の約 1.5 倍となっている。

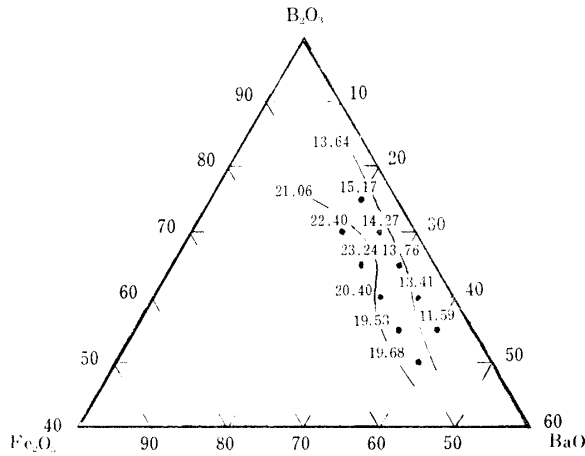


Fig. 1 - 1 Magnetic susceptibility $\chi \times 10^6 / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ of glass in system of B₂O₃-Fe₂O₃-BaO

2) B₂O₃-Fe₂O₃-SrO 系

6 種のガラスしか測定していないので、明確に言えないが、等磁化率曲線は大略 Fe₂O₃ の等 mol 線に沿って描かれる。Fe₂O₃ 10 mol では、B₂O₃ の mol の減少に伴って磁化率も減少している。Fe₂O₃ 10 mol の磁化率は、5 mol の場合の約 1.7

倍となっている。

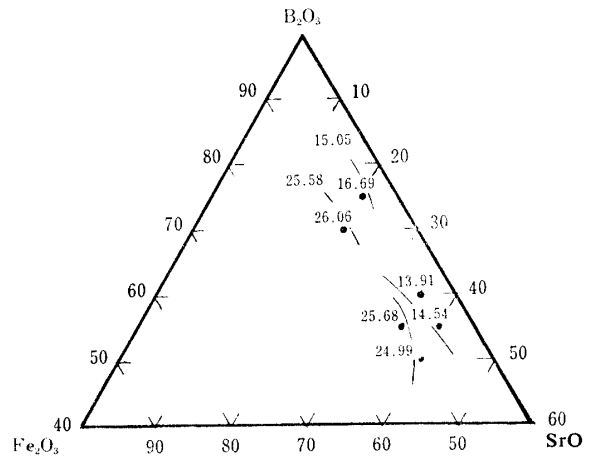


Fig. 2 - 1 Magnetic susceptibility $\chi \times 10^6 / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ of glass in system of B₂O₃-Fe₂O₃-SrO

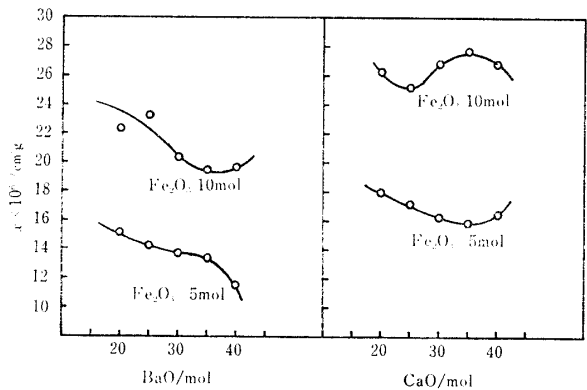


Fig. 1 - 2 Relation between suscepti-
bility and mol of BaO in
B₂O₃-Fe₂O₃-BaO system

Fig. 2 - 2 Relation between suscepti-
bility and mol of CaO in
B₂O₃-Fe₂O₃-CaO system

3) B₂O₃-Fe₂O₃-CaO 系

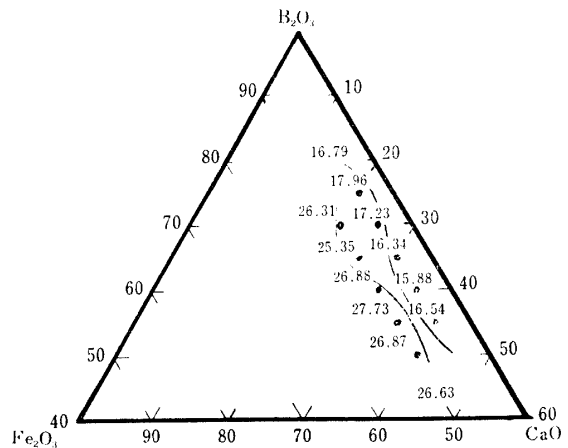


Fig. 3 - 1 Magnetic susceptibility $\chi \times 10^6 / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ of glass in system of B₂O₃-Fe₂O₃-CaO

等磁化率曲線は、等 mol 線に沿って描かれる。
 Fe₂O₃ 5 mol では、B₂O₃ 60 mol で極小値をもち、
 Fe₂O₃ 10 mol では、B₂O₃ 65 mol で極小値、B₂O₃
 55 mol で極大値をもっているのが、特徴である。
 Fe₂O₃ 10 mol の磁化率は、Fe₂O₃ 5 mol の場合
 の約1.6倍となった。

4) B₂O₃-Fe₂O₃-ZnO 系

等磁化率曲線は、ほぼ等 mol 線に沿って描かれ
 る。Fe₂O₃ 5 mol の場合、B₂O₃ 60 mol で極小値
 をもち、Fe₂O₃ 10mol の場合、B₂O₃ の mol の減
 少に伴なって磁化率も減少しているのが特徴であ
 る。なお、Fe₂O₃ 10 mol の磁化率は Fe₂O₃ 5 mol
 の場合の約1.7倍となっている。

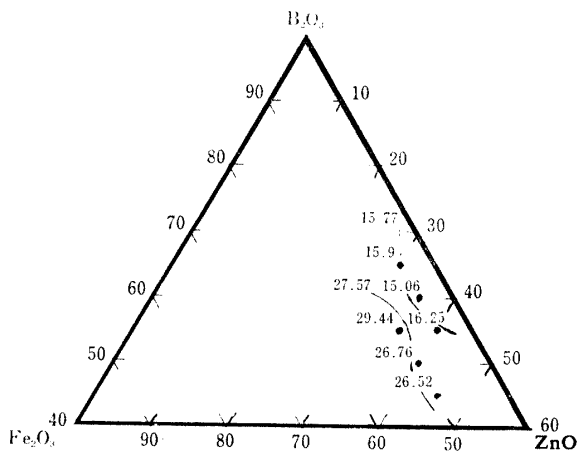


Fig. 4-1 Magnetic susceptibility $x \times 10^6 / \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ of glass in system of B₂O₃-Fe₂O₃-ZnO

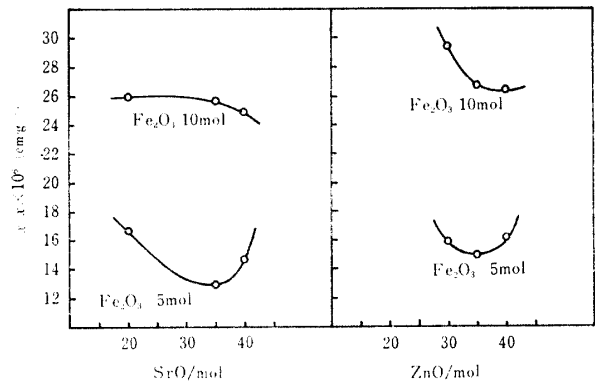


Fig. 3-2

Fig. 4-2

Relation between suscept
 ibility and mol of SrO in
 B₂O₃-Fe₂O₃-SrO system

Relation between suscept
 ibility and mol of ZnO in
 B₂O₃-Fe₂O₃-ZnO system

6. 結 言

磁化率と組成との関係については、Fe₂O₃の等 mol
 線に沿って、大略等磁化率曲線が描け、Fe₂O₃ を含
 有するガラスの磁化率は、Fe₂O₃ の mol に大きく
 依存し、組成の他の成分、その含有量に依らないこ
 とがわかった。磁化率の値は、10~30×10⁶cm³g⁻¹
 で Fe₂O₃ の磁化率20.6×10⁶cm³g⁻¹ (18°C) に大略
 等しいのは、ガラス中でFeがFe₂O₃ の型として存
 在していることを意味すると思われる。

参 考 文 献

- 1) Manual of symbols and terminology for physics
 chemical Quantities and unit I. I. P.A.C. (Buther
 worth) (1969) P. 5
- 2) 化学便覧, 基礎編 I 丸善 (1966) P. 1168

(昭和49年 3月26日受理)