文 献

- 1) 高橋健太郎, 大塚 淳, 窯協, **67** [4] 139-41 (1959).
- 2) 大塚 淳, 窯協, **73** [8] 170-180 (1965).
- 3) 大塚 淳, 窯協, **73** [9] 196-206 (1965).
- 4) 大塚 淳, 窯協 **70** [4] 110-13 (1962).
- 5) O.S. DuMont, H. Brokopf, K. Burkhardt, *Z. anorg. allg. Chem.*, **295**, 7-35 (1958).
- 6) D. Reinen, O.S. DuMont, *ibid.*, **312**, 121-34 (1961).
- 7) 田中泰夫, 日化, **60** [2] 212-18, [3] 314-20, [10] 949-57 (1939).
- 8) W. Büssem, C. Schusterius, A. Ungewiss, *Ber. Deut. Keram. Ges.*, **18** [10] 433-43 (1937).
- 9) L.W. Coughanour, V.A. DeProsse, *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, **51** [2] 85-88 (1937).
- 10) W. Jander, K. Bunde, *Z. anorg. allg. Chem.*, **239**, 418-26 (1938).
- 11) L.W. Coughanour, R.S. Roth, S. Marzullo, *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, **54** [3] 155 (1955).
- 12) G. Yamaguchi, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **26** [4] 204-206 (1953).
- 13) S.S. Cole, W.K. Nelsen, *J. Phys. Chem.*, **42**, 245-51 (1938).
- 14) J.D. Dunitz, L.E. Orgel, *J. Phys. Chem. Solids*, **3**, 20-29 (1957).
- 15) 黒谷寿雄, 化学と工業, **15**, 1132-41 (1962).
- 16) F.C. Romeijn, *Philips Res. Rep.*, **8**, 304-42 (1953).
- 17) J.B. Goodenough, A.L. Loeb, *Phys. Rev.*, **98**, 391-408 (1955).
- 18) A. Miller, *J. Appl. Phys.*, **30** [4] 24 S-25 S (1959).
- 19) O.S. DuMont, Forschungsber. des Wirtschafts und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, [193] 5-37 (1955).
- 20) A. Ohtsuka, *Bull. of the Fac. of Engng. Yokohama Natl. Univ.*, **11**, 15-20 (1962).
- 21) O.S. DuMont, H. Gössling, H. Brokopf, *Z. anorg. allg. Chem.*, **300**, 159-74 (1959).

(5/10/65 受付)

クロム系耐火物のバースティング現象 (1)

宗 宮 重 行

(東京工業大学工業材料研究所)

The Bursting Phenomena of the Chrome Bearing Refractories (1)

By

Shigeyuki SŌMIYA

(Research Institute of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology)

The bursting expansion is one of the important disintegrations of the chrome bearing refractories and has been studied by synthetic spinels, chrome ores and chrome spinel grains separated from chrome ores.

The mechanism of the bursting expansion is related to formation of solid solution and is one of the phenomena of the Kirkendall effect. (a) Formation of solid solution among spinel group minerals, (b) unequal diffusion coefficients of ions in the phases, (c) movement of Pt-mark in the sample, (d) displacement of Pt-mark during heating, inversely proportional to square root of diffusion time, (e) occurrence of pores in the refractories, and (f) expansion after heat treatment and/or reaction are evidences for the fact that the bursting expansion is the Kirkendall effect. By adopting the Kirkendall effect as the mechanism of the bursting, it is able to explain of pores and expansion after heat treatment.

The bursting expansions of synthetic spinel mixtures by a dilatometric method are divided into 3 types namely type E, type S and type L. Samples of the type E showed the bursting expansion, samples of the type S did not show the bursting expansion but showed shrinkage and samples of the type L showed a linear expansion up to 1600°C.

In the case of the chrome spinel grains, there are 2 types of E and S for the bursting. The type E of the chrome spinel grains for the bursting belongs to the type C and A of TGA curves and the type S for the bursting showed TGA curve of the type B. The type C showed the largest bursting expansion among 3 types of A, B and C and the second expansion was shown by the type A. The type B did not show the bursting.

Chrome spinel grains of No. 5 Inazumi, No. 2 Imobara, No. 12 Hinokami No. 18 Cuba and No. 19 Masinloc belonged to the type B, No. 1 and No. 6 Wakamatsu belonged to the type A and No. 3 Hatta, No. 4 Tomimoto Shizunai, No. 7 Akaishi, No. 8 Philippine, No. 9 Philippine, No. 10 Hatta Main Mixture, No. 11 Tomimoto Nukahira, No. 13 Nitto, No. 14 Tsuchiya Horokanai, No. 15 Hatta Yawata, No. 16 Hatta Main, and No. 17 Nitto Washing belonged to the type C.

The bursting expansions of the 15 chrome ores by means of a bottom method were in the following order from large to small: No. 17 Nitto Washing, No. 13 Nitto, No. 10 Hatta Main Mixture, No. 9 Philippine, No. 1 Hirose, No. 6 Wakamatsu, No. 8 Philippine, No. 16 Hatta Main, No. 3 Hatta, No. 14 Tsuchiya Horokanai, No. 2 Imobara, No. 5 Inazumi, No. 7 Akaishi and the smallest No. 4 Tomimoto Shizunai.

Diffusion coefficients of ^{59}Fe at 1200°C and 1400°C in the system $\text{MgO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ -iron oxide were $D_{1200}=2.89\times 10^{-11}$ cm^2/sec and $D_{1400}=3.69\times 10^{-10}$ cm^2/sec , respectively.

We have to consider the following points as counterplans for the bursting expansion: (a) selection of chrome spinel grains from chrome ores, (b) content of chrome spinel grains in the refractory, (c) grain size, (d) calcination of chrome ore, (e) dense structure of the refractory, (f) porous structure and (g) others.

[Received April 16, 1964]

I. 緒 言

クロム系耐火物はクロム鉄鉱を主要な構成原料としており、このクロム鉄鉱は等軸晶系のクロマイト $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、ピクロクロマイト $\text{MgO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、ヘルシナイト $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 、スピネル $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 、マグネタイト $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、マグネシオフィライト $\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ などの固溶しているスピネル族鉱物固溶体 “クロムスピネル粒” ($\text{Fe, Mg})\text{O}\cdot(\text{Cr, Al, Fe})_2\text{O}_3$ と共に、夾雑鉱物として蛇紋石 $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、水滑石 $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ 、オリビン $2(\text{Mg, Fe})\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ その他を含有している。

このクロム系耐火物はクロム鉄鉱の特質により、①珪石質耐火物より遥かに高い耐火度を持つこと、②化学的に中性であること、③侵蝕抵抗が割合大きいことなどの利点があり、1880 年頃から、ヨーロッパで、1905 年頃から日本で、製鉄、製鋼工業に使用されて来た。

他方このクロム系耐火物の欠点としては、①高温における収縮が大きい、②スポーリング抵抗が小さい、③荷重軟化温度が低い、④ピーリングする、⑤バースチング*するなどである。

平炉の高温操業はクロム鉄鉱含有系塩基性耐火物の使用を激増せしめ、現在までに幾多の研究報告が発表されて来た。クロム系耐火物と酸化鉄とのバースチングは、1930~1950 年にかけて製鋼用平炉クロム系耐火物損傷の主因とみなされて、その原因と対策が研究されて来た。1950 年以後近年まで、このバースチング現象の研究は、クロム系耐火物崩壊の主因がピーリングであるという観点から困却されていたようであった。1955 年以後ピーリング現象に関する研究の進展につれて、バースチングがピーリングの一原因であるという観点、砕け易いクロム鉄鉱の体質改善研究、クロム系耐火物の侵蝕抵

抗に関する研究、金属における拡散現象の研究の発展につれて、バースチング現象は再び注目され始めて来た。

クロム系耐火物を製鋼用平炉に使用する限り、クロム系耐火物と酸化鉄との反応、平衡関係について研究することは重要な意義を有することと思う。著者はすでに Arnulf Muan と共に酸化鉄- Cr_2O_3 系、酸化鉄- Al_2O_3 - Cr_2O_3 系、酸化鉄- Cr_2O_3 - SiO_2 系、酸化鉄- MgO 系などの相平衡関係を明らかにした。

この報告の目的は、クロム系耐火物のバースチング機構を検討し、原因を解明すると共に、耐火物として最良のクロム鉄鉱選取上の知見を述べ、バースチング対策について考察することにある。

多数のバースチング仮説を検討し、バースチング現象の機構を明確にするために、クロム鉄鉱を使用してバースチング現象の過程を追究していくことは夾雑鉱物が存在していて複雑であり、実験結果の解析が困難である。

著者はクロム系耐火物に関係深い諸鉱物をまず合成し、この合成鉱物の膨脹を膨脹計により高温まで連続的に測定すると共に、拡散現象としてバースチング現象を解析し、クロムスピネル粒のバースチング性を追究し、さらにクロム鉄鉱のバースチング膨脹を求め、バースチング機構の一端を明らかにし、バースチング現象の防止対策を指示した。

II. バースチング現象の機構に関する既往の研究

バースチング現象はイギリスにおいて注目されて、1934 年 Lynam and Rees¹⁾により、クロム鉄鉱が酸化鉄によって崩壊することが述べられた。この崩壊は鉄-クロム系の固溶体生成によると考察した。Hugill and Green²⁾はクロムスピネル粒がマグネタイトを吸収し、再結晶化の歪によって膨脹し、崩壊するというマグネタイトの再結晶説をバースチングの機構として 1938 年に提出した。

1937 年から 1939 年にかけてイギリスの Chesters 等は種々の研究を発表し³⁾⁴⁾⁵⁾、始めバースチング機構は耐火物中のクロムスピネル粒が蒸気または液体の酸化鉄と固溶体をつくり、その際膨脹するという単純固溶体説 (Simple Solid Solution Theory) であると発表した

* バースチングはクロム鉄鉱と酸化鉄が反応して異常膨脹し、裂壊する現象である。バースチング (Bursting) と共に、ブリーズイング (Breathing) という言葉があるが、このブリーズイングはクロム鉄鉱中の酸化鉄が温度、酸素分圧の変動を受けて $2\text{FeO}+1/2\text{O}_2=\text{Fe}_2\text{O}_3$ の反応が人間が呼吸するように可逆的に起る現象で、広義のバースチング現象中にブリーズイングは含まれるが、この報告内で、バースチングは狭義のクロム鉄鉱と外部から入る酸化鉄との間で生起する反応とする。

が、その後の研究の進展につれて、バースチング現象は①クロム鉄鉱のバースチング傾向が鉱石によって異なり、その差異が夾雑鉱物の種類と量によって説明されないこと、②バースチング膨脹は試験雰囲気に影響を受ける。③塩基性スラグによって膨脹するなどの理由から、バースチング機構としての単純固溶体説の不完全性を認め、バースチング機構は錯固溶体説 (Complex Solid Solution Theory) であると述べた。すなわちバースチングは

固体

液体

固体

の高温反応で、複雑な錯固溶体生成のためにバースチング現象が起ることを説明した。

Trostel⁶⁾は1939年クロムスピネル粒とMgOの反応について研究し、スピネル粒中には $\text{R}^{\text{II}}\text{O} : \text{R}_2^{\text{III}}\text{O}_3 = 1 : 1$ のモル比以上に $\text{R}^{\text{II}}\text{O}$ が存在でき、かかる場合に格子の膨脹が認められることを指適し、バースチングは、 $\text{R}^{\text{II}}\text{O}$ が $\text{R}^{\text{II}}\text{O} : \text{R}_2^{\text{III}}\text{O}_3 = 1 : 1$ のモル比以上にスピネル固溶体に吸収されるときにおこるといふ固溶体格子膨脹仮説を提出した。

1941年Hyslop⁷⁾はクロマグ耐火物中の珪酸塩結晶が R^{II} イオンと反応して低融点物質を生成し、この含鉄珪酸塩融液が耐火物中を通過し、耐火物中の気孔の中で固化結晶化する際膨脹し、崩潰するという珪酸塩(融液)結晶化仮説をバースチング機構として提出した。Hyslopはさらに研究を行ない、FeOや Fe_2O_3 は Fe_3O_4 より小さいバースチング膨脹を与えることなどを報告している。

1946年になって、Zerfoss and Davis⁸⁾は今まで発表されたバースチング仮説を整理し、①固溶体格子膨脹仮説、②珪酸塩結晶化仮説、③磁鉄鉱のクロム核仮説の3仮説をバースチング機構の仮説として述べ、これら仮説の中ではJay and Chesters⁴⁾の提案した第3番目の磁鉄鉱のクロム核仮説をもっとも確からしいと報告している。この仮説は磁鉄鉱のクロムスピネル粒を核とするクロムスピネル粒上の成長をバースチングの機構とするものである。

他方Lovell, Rigby and Greenは1944年⁹⁾、1945年¹⁰⁾のイギリス耐火物研究組合の非公開出版物を1946年になって公開した。彼らの研究結果をまとめてみると下記のようなになる。

(A) “FeO”による反応については、① N_2 気流中で Cr_2O_3 、 Al_2O_3 はクロマイト、ヘルシナイト生成のため膨脹する、②MgOは膨脹しない、③ O_2 存在下でスピネル族鉱物、クロム鉄鉱は膨脹を示すことを報告し、膨脹の原因としてマグネタイトの生成、マグネタイトとス

ピネル族鉱物間の反応という2因子を考えている。

(B) マグネタイトによる反応としては① Cr_2O_3 、 Al_2O_3 とは膨脹を示す、②MgOとは反応しても膨脹を示さない、③スピネル族鉱物、クロム鉄鉱とは膨脹を示す、④ Al_2O_3 、ヘルシナイト、スピネルは Cr_2O_3 、クロマイト、ピクロクロマイトよりはそれぞれ低い膨脹を示す、⑤クロム鉄鉱の膨脹はクロムスピネル粒の化学成分による。他の条件が同じならば $\text{FeO} : \text{MgO}$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3$ の比が大きいとバースチング膨脹が大きいと述べている。さらに

(C) 2種のスピネル族鉱物間のバースチング膨脹は固溶体が生成するまでおこらない。

(D) バースチング膨脹は固溶体生成にともなうスピネル格子中の金属原子の再配列によっておこる。

(E) 異なる結晶配列をとるスピネル族鉱物間のバースチング膨脹は同種配列をとるスピネル族鉱物間の膨脹より大きい。

これらの結果から、正規型-逆型スピネル族鉱物固溶体生成による原子再配列仮説を、バースチングの機構を説明する説としている。

Trojer¹¹⁾は1951年にバースチング膨脹は化学成分などよりも粒子の大きさに影響を受けることを発表している。

Steele and Rigby^{12) 13) 14)}などはバースチング膨脹を Cr^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} などのスピネル族鉱物を構成するイオンの拡散係数の差異により、Kirkendall効果が起り容積が膨脹するという仮説で、1952~1956年にかけて説明している。

1956年にRichards, Gunn and Dobbins¹⁵⁾などはクロムスピネル粒の大きさがバースチング膨脹に与える影響について論じ、Booth and Hedley¹⁶⁾はクロム鉄鉱の嵩比重とバースチング膨脹との間に直接的な関係はないが、焼成により嵩比重の減少する鉱石が大きいバースチング膨脹を示すと報告している。

Rigby and Richardson¹⁷⁾は、塩基性耐火物として重要な性質は体積安定性とバースチング膨脹などであることを述べている。

日本でも吉木(1943)¹⁸⁾は電鍍クロマグ煉瓦を試作して平炉に使用しChestersの固溶体生成説をバースチング現象の説として是認している。その後1952年には¹⁹⁾、バースチング機構としてクロム鉄鉱自体が磁鉄鉱固溶体に変化し、しかる後成長するとしてChestersなどのバースチング機構と若干の所見の相異を持っているが大体においてJay and Chestersの磁鉄鉱のクロム核仮説を支持している。

山口(1953)²⁰⁾はクロム系耐火物の鉱物組成に関して重液分離によって研究し、バースチングは不完全スピネルが、“FeO”を含む鉄スラグと作用して完全スピネ

ルに変化するために結晶が崩潰する現象としている。

尾野 (1954)²¹⁾ はバースチングとは酸化鉄が高温で液相となって耐火物中のクロムスピネル粒に固溶体として入り込むか、あるいは逆に液体酸化鉄が MgO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 などを吸収してその温度で結晶化するために体積膨脹を示す現象として説明している。

福井, 井出 (1957)²²⁾ は塩基性耐火物のバースチング現象について研究をなし, バースチング仮説としてマグネタイトのクロム核仮説は首肯される点が多いが, マグネタイトは単にクロムスピネル粒上にこれを包んで成長していくのではなく, クロムスピネル粒の鉄イオン吸収によるマグネタイト化を経て再結晶的に生長していくものとして, 不均等拡散説によりもっとも明瞭に説明出来ると報告している。

尾山 (1960)²³⁾ は吉木, 福井などと異なり, バースチングの仮説としてクロムスピネル粒が酸化鉄を溶解してマグネタイト化し, その結果格子が膨脹し耐火物を崩潰に導く格子膨脹仮説を支持している。

このようにバースチングの機構に関しては種々の仮説が発表されているが, まだ確認されていない現状である。これらの仮説を整理してみると下記ようになる。

1. 固溶体格子膨脹仮説 (Trostel, 尾山など)
2. 珪酸塩融液結晶化仮説 (Hyslop)
3. 磁鉄鉱のクロム核仮説 (Jay, Chesters, Zerfoss and Davis)
4. 正規型一逆型スピネル族鉱物固溶体生成による原子再配列仮説 (Lovell, Rigby and Green)
5. 磁鉄鉱固溶体の生成とその成長化仮説 (Hugill and Green, 吉木)
6. 不完全スピネル族鉱物の完全化仮説 (山口)
7. Kirkendall 効果 (不均等拡散) 仮説 (Rigby など)

III. バースチングの試験方法

バースチング膨脹の試験方法としては, ① 坩堝法, ② ボタン法, ③ 混合法などに大別される。

坩堝法は坩堝型の容器を耐火物で作製し, その中に酸化鉄をいれて試験し, 結果を外観, 切断面の観察, その他によって判定する方法であり, Lynam and Rees (1936)¹⁾ は容量 15 cc, 高さ 41 mm, 直径 45 mm の坩堝を使用し, 1600°C, 4 時間で試験している。

ボタン法とは耐火物の上に酸化鉄の粉末成形物をのせて試験するもので, 試験前後の上面の互に直角をなす 2 方向の膨脹率の平均, 上面の互に直角をなす 2 方向と高さの 3 方向の膨脹率の和あるいは平均で示す方法であり, Hugill and Green (1938)²⁾ は, 直径 1", 高さ 1" のミルスケールをのせて 1550°C ~ 1580°C に 3 時間加熱して試験している。耐火物試料の大きさは種々あり, 円形あるいは角形である。

混合法とは試料と酸化鉄, あるいは 2 種以上の粉末をよく混合し, その成形物を加熱して長さの変化を測定していく方法であり, Lovell, Rigby, and Green (1946)¹⁰⁾ は直径 1.8 cm, 高さ 2 cm の大きさに合成スピネル族鉱物の混合物を成形し, 800°C ~ 1200°C 間の一定温度に 2 時間保持し, その膨脹収縮を測定している。

これら 3 方法のうちボタン法が一番多く試験方法として採用されており, ① 酸化鉄として ロールスケール, Fe_2O_3 , $\text{Fe} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ などであり, その量は 0.74 ~ 1.8 g $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{cm}^2$ が多い。② 上表面が 50 × 50 mm² のもの, あるいは直径 50 mm くらいの大きさの試験体が多く採用されている。③ 試験温度は 1600°C ~ 1700°C が多く, 1500°C で試験する場合には CaO , 塩基性スラグなどを酸化鉄に添加して使用する例が多い。④ 最高温度に保持する時間は 1 ~ 3 時間が多い。⑤ 膨脹率は試験前後の上面の互に直角な 2 方向の平均, さらに高さを加えて 3 方向の平均, あるいは 3 方向膨脹率の和で示している。

3 試験方法の特徴を考えると下記のようになると思う。坩堝法は試験中に酸化鉄が流出しない利点があり, 試験結果の判定が定性的であり, 耐火物の原表面を利用しないことなどが欠点である。ボタン法は ① 耐火物の原表面が利用出来ること, ② 耐火物の組織とバースチングの関係を重視するときによい, ③ 試験結果が定量的に示されるなどの利点があると同時に, 欠点として ① 酸化鉄流出の危険性, ② 実験結果の再現性の困難性などがある。混合法は ① 化学成分とバースチング量を研究するによい, ② 結果は定量的である, ③ 電気炉使用なので, 温度, 雰囲気調節がガス炉より容易である, ④ 試料の上表面から試料下面へと液体が浸透する過程を含まないので, 浸透の深さや試料の組織によらない, ⑤ 試料の上表面上で酸化鉄が熔融し, その結果発生する割れ目, 裂け目の影響を除くことができる, ⑥ 液体の結晶化によるバースチング膨脹を除去できることなどが利点であり, ① 耐火物の原表面を利用出来ない, ② 耐火物の組織的構成に関係しない, などが欠点である。

IV. 試料と実験方法

バースチング膨脹について, 再現性のある結果が得られる実験条件を決定したボタン法と, 高温熱膨脹計を使用した混合法を採用して実験し, さらにラジオアイソトープによって拡散係数を求め, バースチング機構を解明した。

(1) 試料の調整

(a) 合成鉱物 クロマイト, ピクロクロマイト, スピネル, ヘルシナイト, マグネシオフェライトなどのスピネル族鉱物, フォルステライト, モンチセライト,

エンスタタイトなどの珪酸塩鉱物をそれぞれ酸化物、炭酸塩などから合成した。スピネルその他珪酸塩鉱物の合成方法、性質については既に報告した²⁴⁾。上記鉱物のうちクロマイト、ヘルシナイトについては $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Cr}_2\text{O}_3 = 1 : 3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 1 : 3$ (モル比) になるように秤量、混合し、 1500°C 、3時間ガス炉焼成し、48メッシュ全通物にして 1200°C 、2時間電気炉焼成し、この焼成物を微粉砕してFe粉末をクロマイト、ヘルシナイトになるようにそれぞれ添加混合し、高周波電気炉を使用してアルゴン雰囲気中で 1400°C 、1時間加熱し、焼成物をX線で同定して合成した。

マグネタイトは釜石鉱山産の磁鉄鉱を微粉砕し、HClで不純物除去を行なったもので、FeO 30.75%, Fe_2O_3 67.84% のものである。

拡散実験に使用した放射性酸化鉄は、Feとして0.59gを含む FeCl_3 に10 μc の Fe^*Cl_3 を添加し、 NH_4OH で水酸化鉄として沈澱させ、濾過洗浄し、 $105^\circ\sim 110^\circ\text{C}$ で乾燥させ、 500°C に5時間煅焼して水分を揮発させ、 ^{59}Fe を含む酸化鉄を得た。

(b) クロム鉄鉱 入手したクロム鉄鉱は表-1に示した通り19種で、地名を示した。塊鉱はジョークラッシャー、ローレルクラッシャーで粉砕した。試料は20~180メッシュのものを使用した。表-2に使用したクロム鉄鉱の化学組成を示した。 SiO_2 は19.00% (No. 12 日野上)~2.42% (No. 17 日東水洗)、 Al_2O_3 は32.50% (No. 19 マシンロック)~2.40% (No. 17 日東水洗)、 Cr_2O_3 は60.78% (No. 17 日東水洗)~13.99% (No. 4 富本静内)、FeO (全鉄分をFeOとして示したものは22.10% (No. 17 日東水洗)~7.96% (No. 5 稲積)、MgOは24.92% (No. 5 稲積)~10.05% (No. 17 日東水洗)の範囲を含むものであり、産地によって化学成分は大いに異なり、夾雑鉱物もそれぞれ異なっているが、蛇紋岩、水滑石、炭酸塩などを含んでいる。

Table 2. Chemical compositions of chrome ores.

No.	H ₂ O ⁻ (%)	H ₂ O ⁺ (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	FeO* (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CO ₂ (%)
No. 1 Hirose	0.25	1.82	4.72	0.07	1.26	12.36	17.82	25.22	34.03	0.19
2 Imobara	0.19	0.36	10.04	tr.	0.76	13.69	24.86	12.10	26.80	2.48
3 Hatta	0.64	2.10	5.34	0.69	0.48	13.29	15.35	11.02	48.64	1.25
4 Tomimoto Shizunai	2.00	11.84	12.10	tr.	7.30	11.57	22.15	18.00	13.99	0.32
5 Inazumi	0.56	5.34	9.92	tr.	1.36	7.96	24.92	23.24	26.77	0.44
6 Wakamatsu	0.22	3.01	5.50	0.07	0.80	13.55	18.31	24.94	32.24	0.31
7 Akaishi	0.40	4.10	8.82	tr.	0.84	14.31	17.48	12.00	44.25	0.51
8 Philippine	0.54	3.15	13.54	tr.	0.67	14.44	15.78	7.50	44.38	0.52
9 Philippine	0.31	1.49	3.84	tr.	1.27	16.10	17.37	11.48	48.17	0.29
10 Hatta Main Mixture	0.21	1.84	7.64	—	0.64	14.48	22.11	11.78	43.13	0.25
11 Tomimoto Nukahira	0.40	2.20	12.00	tr.	0.26	9.61	14.67	19.00	43.14	0.35
12 Hinokami	0.18	8.32	19.00	tr.	0.33	9.72	21.60	10.21	33.30	0.40
13 Nitto	0.17	2.53	5.60	tr.	0.84	13.26	18.69	8.06	51.89	0.15
14 Tsuchiya Horokanai	0.24	2.53	7.50	—	0.40	16.02	17.46	14.46	44.65	0.42
15 Hatta Yawata	0.24	2.67	8.32	tr.	0.88	13.04	14.24	15.97	44.08	0.33
16 Hatta Main	0.28	2.00	5.94	tr.	0.46	13.15	19.12	18.35	40.55	0.10
17 Nitto Washing	0.10	2.46	2.42	—	0.40	22.10	10.05	2.40	60.78	0.13
18 Cuba		2.59	3.75			13.52	16.98	27.90	32.67	
19 Masinloc			4.10			12.28	18.67	32.50	32.64	

* Total iron as FeO

Table 1. Locality of chrome ores used.

No.	Name of mine	Locality
1 Hirose		Tari-mura, Hino-gun, Tottori-ken, Japan
2 Imobara		Imobara, Kamiichi-machi, Atetsu-gun, Okayama-ken, Japan
3 Hatta		Furenai, Horosaru-mura, Hiratori-machi, Saru-gun, Hidaka, Hokkaido, Japan
4 Tomimoto Shizunai		Takami, Shizunai-machi, Shizunai-gun, Hidaka, Hokkaido, Japan
5 Inazumi		Hinokami-mura, Hino-gun, Tottori-ken, Japan
6 Wakamatsu		Tari-mura, Hino-gun, Tottori-ken, Japan
7 Akaishi		Sekikawa-mura, Uma-gun, Ehime ken, Japan
8 Philippine		Unknown, through Nanyo Bussan K.K.
9 Philippine		Unknown, through Santo Shoji K.K.
10 Hatta Main Mixture		Furenai, Horosaru-mura, Hiratori-machi, Saru-gun, Hidaka, Hokkaido, Japan
11 Tomimoto Nukahira		Nukkibetsu, Hiratori-machi, Saru-gun, Hidaka, Hokkaido, Japan
12 Hinokami		Hinokami-mura, Hino-gun, Tottori-ken, Japan
13 Nitto		Niseu, Hiratori-machi, Saru-gun, Hidaka, Hokkaido, Japan
14 Tsuchiya Horokanai		Horokanai, Uryu-gun, Teshio, Hokkaido, Japan
15 Hatta Yawata		Hobetsu-machi, Yufutsu-gun, Iburi, Hokkaido, Japan
16 Hatta Main		Furenai, Horosaru-mura, Hiratori-machi, Saru-gun, Hidaka, Hokkaido, Japan
17 Nitto Washing		The same as No. 13
18 Cuba		Unknown
19 Masinloc		Philippine

る。例えば代表的なクロム鉄鉱の顕微鏡写真図を図-1に示した。No. 1 広瀬クロム鉄鉱は、夾雑鉱物として蛇紋岩を主としそれに少量の炭酸塩などからなり、クロムスピネル粒の外周には黒色の酸化鉄の存在が認められる。No. 4 富本静内鉱は約60% くらいが肉眼的にみて不純物であり、水滑石を多量に含み、他に蛇紋岩がある。No. 9 比島は蛇紋岩などを主にするが、クロムスピネル粒は大形のものが多く、割目に黒色の酸化鉄が認められる。

クロム鉄鉱中のクロムスピネル粒量と夾雑鉱物との量はクロム鉄鉱中の Cr_2O_3 量と、後記のクロムスピネル

Fig. 1. Photomicrographs of (a) No. 1 Hirose Chrome Ore, (b) No. 4 Tomimoto Shizunai Chrome Ore, and (c) No. 9 Philippine Chrome Ore. ($\times 100$)

粒中の Cr_2O_3 量の比によって、化学的に推定した。結果は表-3であり、もっとも多量にクロムスピネル粒を含有する鉱石は No. 9 比島の 96.3% であり、もっとも多量に不純物を含むものは No. 4 富本静内鉱で 71.0% である*。

ペースティング試験に使用したクロム鉄鉱の粒度は、ボタン法の場合タイラー篩の 20~180 メッシュであり、混合法の場合には試験体の大きさがボタン法よりも小さいので 100~180 メッシュであった。

*クレリシ重液によってクロム鉄鉱の変質はないと仮定した。

(c) クロムスピネル粒 クレリシ重液及び融剤によってクロム鉄鉱から分離した。融剤の選択については著者が既に報告したように²⁵⁾ Na_2CO_3 , $\text{KOH}+\text{NaOH}$ (1:1), $\text{KOH}+\text{NaOH}+\text{K}_2\text{CO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3$ (6:4:5:5) の3種のうちから、融剤によって分離したクロムスピネル粒の化学成分と熱天秤図がクレリシ重液によって分離したクロムスピネル粒の性質と似ている $\text{KOH}+\text{NaOH}+\text{K}_2\text{CO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3$ (6:4:5:5) を融剤として選んだ。

クレリシ重液による場合 100~200 メッシュ微粉クロム鉄鉱を使用して遠心分離器によりクロムスピネル粒を分離した。粒の化学成分は表-4に示した。

融剤の場合、 $\text{KOH}+\text{NaOH}+\text{K}_2\text{CO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3$ (6:4:5:5) を約 2.5 g, 所定の重量比に秤量し、100~200 メッシュクロム鉄鉱 5 g を徐々に加えて熔融する。10 分間保持した後冷却、融塊を温湯で処理し、不溶解部分を抽出し数回傾泻して洗浄する。この操作をさらに 1 回繰

Table 3. Amounts of chrome spinel grains and gangue minerals in the chrome ores.

No.	Amount of chrome spinel grains (%)	Amount of gangue minerals (%)
1 Hirose	96.0	4.0
2 Imobara	68.0	32.0
3 Hatta	89.5	10.5
4 Tomimoto Shizunai	29.0	71.0
5 Inazumi	70.2	29.8
6 Wakamatsu	81.2	18.8
7 Akaishi	80.1	19.9
8 Philippine	90.4	9.6
9 Philippine	96.3	3.7
10 Hatta Main Mixture	91.8	8.2
11 Tomimoto Nukahira	82.0	18.0
12 Hinokami	65.2	34.8
13 Nitto	91.5	8.5
14 Tsuchiya Horokanai	70.5	29.5
15 Hatta Yawata	84.1	15.9
16 Hatta Main	81.2	18.8
17 Nitto Washing	96.0	4.0
18 Cuba	81.9	18.1
19 Masinloc	92.9	7.1

Table 4. Chemical compositions of the chrome spinel grains separated from the chrome ores by Clerici heavy liquid.

No.	SiO_2 (%)	MgO (%)	FeO^* (%)	Cr_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	Total (%)
1 Hirose	2.17	17.77	13.57	35.46	30.08	99.06
2 Imobara	4.60	16.22	20.11	39.42	20.06	100.41
3 Hatta	2.00	14.79	15.59	54.34	15.28	101.00
4 Tomimoto Shizunai	3.43	15.77	18.46	48.27	14.85	100.78
5 Inazumi	1.33	17.39	15.01	38.16	31.30	103.19
6 Wakamatsu	1.80	16.20	17.02	30.20	28.40	101.60
7 Akaishi	1.23	9.27	26.70	55.24	8.70	101.14
8 Philippine	2.00	13.76	16.85	49.08	15.73	97.42
9 Philippine	1.10	14.12	18.10	50.00	16.38	99.70
10 Hatta Main Mixture	2.60	15.62	15.56	46.99	23.13	103.90
11 Tomimoto Nukahira	4.86	12.31	13.93	52.63	17.68	101.31
12 Hinokami	2.30	12.98	17.05	51.07	16.35	99.75
13 Nitto	2.37	14.05	14.97	56.73	13.09	101.21
14 Tsuchiya Horokanai	0.23	8.33	22.28	63.37	11.18	105.89
15 Hatta Yawata	2.33	15.28	15.78	52.42	16.09	101.90
16 Hatta Main	4.31	16.11	14.74	49.96	13.78	99.90
17 Nitto Washing	2.33	13.72	16.70	58.28	9.86	100.89
18 Cuba	1.48	15.87	14.77	39.88	31.28	103.28
19 Masinloc	0.38	17.71	13.45	35.14	39.65	106.33

* Total iron as FeO .

Table 5. Chemical compositions of the chrome spinel grains separated from the chrome ores by the flux, KOH+NaOH+K₂CO₃+Na₂CO₃ (6:4:5:5).

No.		SiO ₂ (%)	MgO (%)	FeO* (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Total (%)
1	Hirose	0.16	12.36	13.36	38.18	35.03	102.75
2	Imobara	0.54	11.88	16.00	55.92	14.45	98.79
3	Hatta	0.08	13.00	15.10	63.83	12.82	104.83
4	Tomimoto Shizunai	0.16	13.11	18.19	58.52	13.05	104.01
5	Inazumi	0.52	13.74	16.29	38.93	28.65	98.13
6	Wakamatsu	0.40	15.30	15.95	39.71	28.40	99.76
7	Akaishi	0.24	8.91	25.89	56.06	7.43	98.53
8	Philippine	0.18	10.92	16.75	57.45	17.10	102.40
9	Philippine	0.22	14.86	18.19	55.44	11.10	99.81
10	Hatta Main Mixture	0.08	14.48	15.08	54.56	16.00	100.20
11	Tomimoto Nukahira	2.24	11.59	13.26	62.87	9.85	99.81
12	Hinokami	0.32	17.26	16.11	42.08	26.00	101.77
13	Nitto	0.10	14.48	15.64	61.21	10.25	101.68
14	Tshuchiya Horokanai	1.88	8.41	20.92	62.12	10.33	103.66
15	Hatta Yawata	0.10	8.72	15.92	55.87	18.35	98.97
16	Hatta Main	0.64	15.50	16.07	55.26	14.28	101.75
17	Nitto Washing	0.20	11.23	15.73	63.33	12.65	103.14
18	Cuba	0.20	15.92	14.15	35.81	29.95	96.03
19	Masinloc	0.65	17.71	12.92	35.14	34.50	100.82

* Total iron as FeO.

返した後濾過水洗し 105°~110°C で 1 時間乾燥してクロムスピネル粒を得た。このクロムスピネル粒の化学組成は表-5 に示した。多量にクロムスピネル粒が必要な場合には、この融剤によって分離した粒を使用した。融剤による Cr₂O₃ の溶解は、No. 1 広瀬鉱中 Cr₂O₃ の 0.52%, No. 3 八田鉱 Cr₂O₃ の 0.47% で微量である。

(2) 実験方法

(a) ボタン法による実験 20~180 メッシュクロム鉄鉱粉末に Carbowax 4000 を 2% 添加し、5% の水分で 1000 kg/cm² の圧力で直径 2 cm、高さ 2 cm に成形し、ガス炉内の共素地の上にのせ、さらに試料の上に FeO 65.08%, Fe₂O₃ 33.09% のロールスケールを直径 2 cm に成形して置き、1500°~1700°C で 1~3 時間ガス炉内に保持し、上面 2 方向の線膨張の測定 of 平均値をとりバースチング膨張を表わすことにした。

(b) 混合物の高温膨張計法による実験 合成スピネル族鉱物の場合には 50:50 wt% の 2 種スピネル族鉱物の試料を瑪瑙鉢でよく混合し、直径 1 cm、高さ 1.5 cm の大きさに 1000 kg/cm² の成形圧で成形し、山内、鈴木の高温膨張計²⁶⁾を使用し、試料を 31 g/cm² の加圧下に 1000°C までは 10°C/min、1000°C 以上は 7°C/min の上昇率で加熱し、1/1000 mm または 1/100 mm のダイヤルゲージで膨張を測定した。温度測定は Pt-87% Pt-13% Rh 熱電対で行った。

クロムスピネル粒と酸化鉄との反応の場合にも合成スピネル族鉱物の膨張測定の場合と同様に 50:50 混合物をつくり実験した。

(c) ラジオアイソトープ ⁵⁹Fe による拡散の実験

外径 10 mm、内径 5 mm、高さ 10 mm の MgO·Cr₂O₃ 坩堝を加圧成形し、内部に 4 本の Pt 線を対角線が直角になるように設置し、⁵⁹Fe を含む酸化鉄をいれ、

1200°C、あるいは 1400°C に加熱して白金線の移動を測定すると共に、一定時間後に実験後の試料を樹脂でかため中心から切断し、切断面を研磨しセロイジン 1% 液を塗り、冷所で一昼夜乾燥させ、化学カブリを防ぐようにし、コンタクト法用富士オートラジオグラフ乾板厚 15 μ の ET-2 E 型を使用し、10 日間冷所のデシケーター（乾燥剤は塩化カルシウム）中で露出し、感光せしめ、FD-111 の処方により 2~4 分間現像した。フィルムの黒化度はミクロホトメーターで測定した。走査速度は 1.0 mm/min であった。

V. 実験結果

(1) 混合物の高温膨張計法によるバースチング

高温膨張計による結果は表-6、図-2 に示した。これらの結果を分類すると、E 型: 1000°~1200°C から急激なバースチング膨張を示す場合、S 型: 1200°~1400°C の範囲内からバースチング膨張を示さずに収縮過程に入

Table 6. The bursting expansions of binary mixtures by the dilatometric method and temperatures showing the maximum expansion.

System	Bursting expansion	Temperature showing the maximum expansion
FeO·Fe ₂ O ₃ -FeO·Cr ₂ O ₃	7.30%	1320°C
FeO·Al ₂ O ₃	1.00	1400
MgO·Cr ₂ O ₃	3.38	1370
MgO·Al ₂ O ₃	2.62	1320
MgO·Fe ₂ O ₃	1.37	1180
FeO·Cr ₂ O ₃ -FeO·Al ₂ O ₃	—	—
FeO·Fe ₂ O ₃	7.30	1300
MgO·Cr ₂ O ₃	1.13	1300
MgO·Al ₂ O ₃	1.74	1250
MgO·Fe ₂ O ₃	6.64	1370
FeO·Al ₂ O ₃ -FeO·Cr ₂ O ₃	—	—
FeO·Fe ₂ O ₃	1.00	1400
MgO·Cr ₂ O ₃	3.50	1400
MgO·Al ₂ O ₃	1.06	1270
MgO·Fe ₂ O ₃	1.12	1260
MgO·Cr ₂ O ₃ -FeO·Cr ₂ O ₃	1.13	1300
FeO·Al ₂ O ₃	3.50	1400
FeO·Fe ₂ O ₃	3.38	1370
MgO·Al ₂ O ₃	1.48	1600
MgO·Fe ₂ O ₃	1.16	1300
MgO·Al ₂ O ₃ -FeO·Cr ₂ O ₃	1.74	1250
FeO·Al ₂ O ₃	1.06	1270
FeO·Fe ₂ O ₃	2.62	1320
MgO·Cr ₂ O ₃	1.48	1600
MgO·Fe ₂ O ₃	0.92	1300
MgO·Fe ₂ O ₃ -FeO·Cr ₂ O ₃	6.64	1370
FeO·Al ₂ O ₃	1.12	1260
FeO·Fe ₂ O ₃	1.37	1180
MgO·Cr ₂ O ₃	1.16	1300
MgO·Al ₂ O ₃	0.92	1300

る場合、L型：室温から1600°Cまでバースチング膨脹を示さず、収縮もなく膨脹して行く場合と3種になる。

E型としては

Fig. 2. The bursting expansions of the binary spinel mixtures by means of the dilatometric method.

FeO·Fe₂O₃-MgO·Al₂O₃
 FeO·Cr₂O₃
 MgO·Al₂O₃
 MgO·Cr₂O₃
 FeO·Cr₂O₃-FeO·Fe₂O₃
 MgO·Al₂O₃
 MgO·Fe₂O₃
 FeO·Al₂O₃-FeO·Fe₂O₃
 MgO·Cr₂O₃
 MgO·Al₂O₃-FeO·Cr₂O₃
 FeO·Fe₂O₃
 MgO·Cr₂O₃-FeO·Al₂O₃
 FeO·Fe₂O₃
 MgO·Fe₂O₃-FeO·Cr₂O₃

などであり、FeO·Fe₂O₃-FeO·Cr₂O₃の場合には図-2で示すように1000°Cくらいから膨脹係数が大きくなり、1200°Cくらいから急激な膨脹を示している。1320°Cくらいまでこの膨脹は続き、それから収縮を示している。1320°Cくらいにおける膨脹は7.30%であり、次がFeO·Fe₂O₃とMgO·Cr₂O₃との膨脹は6.64%、1370°Cである。他は4%となっていくと小さくなる。

S型としては

FeO·Fe₂O₃-MgO·Fe₂O₃
 FeO·Cr₂O₃-FeO·Al₂O₃
 MgO·Cr₂O₃
 FeO·Al₂O₃-FeO·Cr₂O₃
 MgO·Al₂O₃
 MgO·Fe₂O₃
 MgO·Al₂O₃-FeO·Al₂O₃
 MgO·Fe₂O₃
 MgO·Cr₂O₃-FeO·Cr₂O₃
 MgO·Fe₂O₃
 MgO·Fe₂O₃-FeO·Al₂O₃
 FeO·Fe₂O₃
 MgO·Fe₂O₃-MgO·Al₂O₃
 MgO·Cr₂O₃

などである。

L型としてはMgO·Cr₂O₃-MgO·Al₂O₃などであり、1600°Cまでほとんど直線的に膨脹している。

Fig. 3. Thermal expansion curves of forsterite and monticellite synthesized at 1300°C.

珪酸塩と酸化鉄との反応をスピネル族鉱物と同様の条件で測定した。珪酸塩としてはフォルステライト、モンチセライトの2種で、成形後1300°Cに焼成した試料とフォルステライトに酸化鉄を混合したものの膨脹を図-2(g), 3に示した。フォルステライトと酸化鉄との膨脹は急激なバースティング膨脹がなく、1100°Cから収縮している。

クロム鉄鉱から融剤によって純化分離したクロムスピネル粒と酸化鉄との混合物の膨脹は図-4に示した。この膨脹図から、クロムスピネル粒と酸化鉄との膨脹はE型、S型の2種が認められ、L型は認められなかった。

クロムスピネル粒のバースティング膨脹は著者の採用した実験条件下で、1200°Cくらいから膨脹係数が大きくなるようである。最大膨脹率を示す温度は1400°~1500°Cであり、ことに1460°~1500°Cの間に集中している。最大線膨脹率は2.07%が最大であり、一般に2%以下である。

E型としては、No. 1 広瀬, No. 3 八田, No. 4 富本静内, No. 6 若松, No. 7 赤石, No. 8 比島, No. 9 比島, No. 10 八田本山混合, No. 11 富本棟平, No. 13 日東, No. 14 土谷幌加内, No. 15 八田八幡, No. 16 八田本山, No. 17 日東水洗などで

Fig. 4. The bursting expansions of the chrome spinel grains with magnetite by the dilatometric method.

あり、S型としては、No. 2 芋原、No. 5 稲積、No. 12 日野上、No. 18 キューバ (No. 19 マシンロックは試験しなかった) などであった。

(2) ボタン法によるバースチングの実験

試験温度を 1500°C、1620°C の 2 水準にとって試験すると、表—7, 8 のようで 1500°C では膨脹を示さず、かえって収縮を示している。酸化鉄は 1560°C 以上で熔融し、1620°C で 1 時間保持した場合、試料はバースチング膨脹を示しており、酸化鉄量が増加するにつれてバースチング量も増加している。高さ 2 cm、直径 2 cm の試験体の大きさの場合に、酸化鉄量は 5 g 前後すなわち 1.5 g/cm³ 前後がよく、ボタン法の場合には反応速度がおそいために耐火物上部の酸化鉄が熔融することが望ましいことがわかった。バースチングの試験温度については、イギリスで 1600°, 1650°, 1700°C の 3 種水準について試験をし、1600°, 1650°C の採用を再現性の点から 1700°C よりもすすめており、1600°C は空気中における酸化鉄の融点に近いので、Zerfoss and Davis⁸⁾ は 1625°~1630°C をすすめている。そこで著者は 1650°±20°C を実験条件の一つとして採用することにした。

1650°C の試験温度に保持する時間は、1 時間保持、3 時間保持の 2 水準で実験してみると、表—9 の通りで、3 時間加熱の方が 1 時間加熱の場合より再現性のよいこ

Table 7. The bursting expansion of the chrome ore at 1500°C by the bottom method.

	Upper diameter (cm)	Lower diameter (cm)	Height (cm)
Before experiment	2.055	2.055	2.530
After experiment	2.055	2.040	2.046
Expansion (%)	0.0	-0.54	-2.96
Total expansion	-3.50		
—: Contraction			

Table 8. Relation between the bursting expansion of the chrome ore and amount of roll scale at 1600°C experiment by the bottom method.

	Bursting expansion (%)	Amount of roll scale (g)	Length of changed part (cm)
No. 1	25.1	3.0	1.2
2	28.3	5.4	1.9
3	30.0	9.1	more than 2.3
4	32.3	15.2	more than 2.3
5	36.3	19.2	more than 2.3

Table 9. Relation between the bursting expansion of the chrome ores by the bottom method and holding time at 1650°C.

	I 3 hrs	II 3 hrs	III 1 hr	IV 1 hr	Average I & II 3 hrs
No. 1 Hirose	21.2	18.6	40.0	23.6	19.9
4 Tomimoto Shizunai	-11.3	-10.5	-1.58	-8.42	-10.9
5 Inazumi	13.6	13.6	23.8	13.0	13.6
7 Akaishi	1.24	1.72	20.3	13.8	1.48
11 Tomimoto Nukahira	4.40	3.21	20.4	13.6	3.81
14 Tsuchiya Horokanai	18.8	13.6	43.8	17.3	16.2
17 Nitto Washing	14.8	14.8	25.3	14.3	14.8
19 Masinloc	14.5	13.1	17.8	17.1	13.8

Table 10. The bursting expansion and the bursting tendency of the 14 chrome ores.

	Bursting expansion (%)	Bursting tendency
No. 1 Hirose	20.7	5
2 Imobara	12.8	10
3 Hatta	16.6	8
4 Tomimoto Shizunai	-5.8	13
5 Inazumi	10.5	11
6 Wakamatsu	19.7	5
7 Akaishi	5.8	12
8 Philippine	18.0	6
9 Philippine	21.3	3
10 Hatta Main Mixture	22.9	2
13 Nitto	22.9	2
14 Tsuchiya Horokanai	15.0	9
16 Hatta Main	17.6	7
17 Nitto Washihg	23.1	1
—: Contraction		

とがわかった。

このようにしてきめられた実験条件下 (1650°C±20°C, 3 時間保持) における 14 種クロム鉄鉱のバースチング膨脹およびバースチング傾向は表—10 の通りで No. 17 日東水洗鉱が 23.1% で最大であった。(以下次号)

Dr. G. Wagner 記念公開学術講演会 (第 3 回)

Dr. G. Wagner の業績を記念し、無機材料あるいは窯業材料に関する研究面のいっそうの進展を促進するために頭記講演会を下記により開きます。

と き 昭和 40 年 11 月 11 日 (木) 午後 2 時—4 時

ところ 東京工業大学本館第一会議室 (東京都目黒区大岡山)

挨拶 東京工業大学教授 森 谷 太 郎 氏

演題・講師

X線回折による窯業材料研究の最近の進歩..... 東京大学教授 理博 定 永 両 一 氏

主 催 東京工業大学窯友会 (代表 田賀井秀夫) 電 726—1111 内線 575

後 援 東京工業大学窯業同窓会