

| | |
|--------------|---|
| Title | セラミックスの低温応用の可能性 |
| Author(s) | 中平, 敦; 西嶋, 茂宏; 岡田, 東一 他 |
| Citation | 大阪大学低温センターだより. 1994, 88, p. 11-13 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/9199 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

セラミックスの低温応用の可能性

中平 敦、西嶋茂宏*、岡田東一*、新原皓一 (8441)
産業科学研究所 (合成無機材料部門、放射線応用加工部門*)

液体窒素や液体ヘリウム温度のような低温域で使用する支持具材料は優れた機械的性質 (強度、疲労、寸法安定性など) のみならず、長期に渡る特性安定性が必要であり、このような高性能低温用材料は低温システム (例えば超伝導磁石システムなど) の安定操作を行うために必要不可欠である。低温用材料として実際に要求される機械的特性から判断すると、金属や高分子 (とくにFRP) は一長一短があり、その応用には限界がある。そこで、現在、新規な高性能低温用構造材料が求められている。

その低温用材料の候補材料として我々は現在、セラミックスを有望と考えている。その理由の一つとしてセラミックスの持つ材料としての多様さが挙げられる。セラミックス材料自体、種類が豊富であることに加えて、セラミックスの持っている微細組織を様々なレベルで制御すれば、その特性が大幅に制御可能であるという、セラミックスの持つ材料特性の多様さが挙げられる¹⁾。例えば超伝導磁石の熱シールドを支える支持材は、低い熱伝導率を有すること以外に、長期間にわたる材料の機械的性質の信頼性が要求される。さらに、耐放射線性も要求される。このような要求を同時に満たすには多様なセラミックスが非常に有利である。

一般に、セラミックスは金属や高分子が使用できないような高温域で使用する構造材料として認識され、実際、耐火物やターボローターなどとして実用化されている。図1に代表的なセラミックスであるZrO₂の低温度強度を示す²⁾。図から分かるようにその強度は低温においても劣化せず室温時とほぼ同等あるいはそれ以上の高強度を示すことが明らかになった。

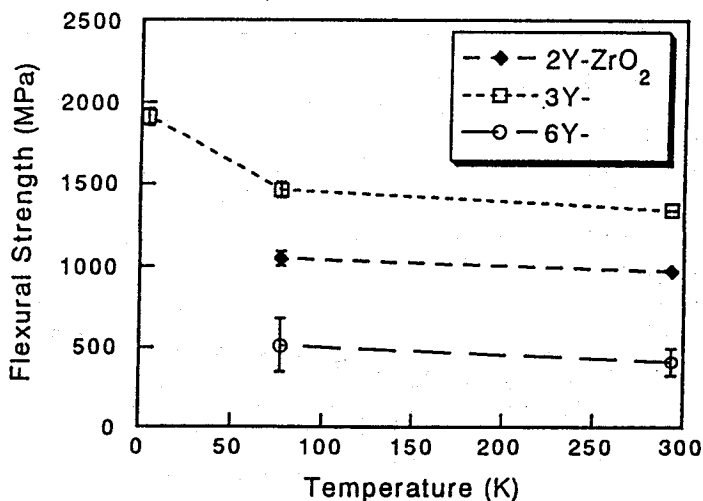


Fig. 1 Temperature dependence of fracture strength of ZrO₂

ここで ZrO_2 を熱シールド支持材として検討してみる。検討体系として核融合科学研究所の大型ヘリカル装置を取り上げた。ステンレスをシールド支持材として使用したときの熱侵入量を試算した結果、80 Kシールドへは12600 Wの熱侵入が予想され、この熱侵入量を低減することが望まれている。図2に ZrO_2 とステンレス (SUS304) の熱伝導率の温度依存性をしめた。いずれの温度においてもジルコニアの熱伝導率はステンレスに比較して小さいことが理解できる。定状状態を想定すると、熱伝導率の温度積分が極低温領域へ侵入する熱量に比例する。表1に ZrO_2 の熱伝導率の測定結果から計算した熱伝導温度積分値を示す。室温から支持材を立てて、80Kでシールドを支えるとき、 ZrO_2 を使用するとステンレスに比較して約1/5に熱侵入量を減らすことができるが、GFRPの場合の約6倍となる。ここで、大型ヘリカル装置に ZrO_2 シールド支持材を使用した場合とステンレスを使用した場合の熱侵入量を計算した結果を表2に示す。室温から立てた場合、ステンレスでは12600 Wの侵入量に対し、 ZrO_2 では、2600 Wと大幅に低減することが出来ることが理解できる。また、液体ヘリウム温度から立てた場合でも1400 Wが270 Wと大幅な改善が期待できる。ただしこれは、断面積が同一として考えた場合であり、強度が低いと断面積を大きくすることが必要であり、熱侵入量はさらに増加することになる。一般に極低温になると金属や高分子材料強度は向上するが、破壊靱性値が低下する事が知られている。本研究で検討した ZrO_2 は正方晶→単斜晶の応力誘起相変態を利用して高強度化・高靱化が達成される。まだ極低温での破壊靱性の測定は行っていないが、低温での ZrO_2 の相変態挙動などはまだ未知の研究分野であり、興味深いテーマである³⁾。

いずれにしてもこれまでの研究から低温シールド支持材料としてセラミックスは従来の材料の欠点を一挙に改善できることが明らかとなった。現在、セラミックスは単相材料としてではなく、複合材料としてさらに高信頼・高性能化が試みられている¹⁾。それらの研究からさらにすぐれた低温用材料が得られることも十分考えられる。今後、セラミックスは高温材料としてのみならず、低温材料としても大規模に実用化されることが期待できる。

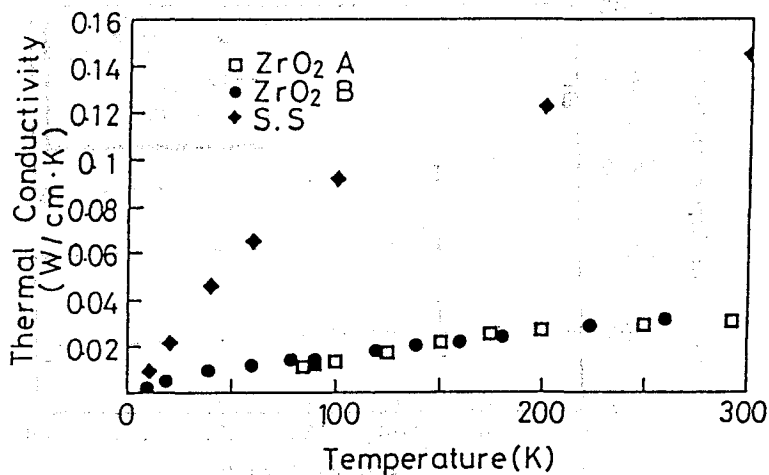


Fig. 2 Temperature dependence of thermal conductivity of ZrO_2 and stainless steel (S.S.).

謝辞 本研究の一部は特定研究「環境保護のための新素材の創製とその限界予測」の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) K.Niihara; J. of The Ceramic Soc. JPN,99,974(1991)
- 2) S. Nishijima, A. Nakahira, K. Niihara and T. Okada; Proc. of PACRIM, 1993 in print.
- 3) S. Nishijima, A. Nakahia, T. Okada and K.Niihara; Materials Lett., in print.

Table. 1 Thermal conductivity integral for each support material.

| | Th (K) | Tl (K) | $\int KdT$ (W/m) |
|------------------|--------|--------|------------------|
| ZrO ₂ | 300 | 77 | 5.59 |
| | | 77 | 4.2 |
| SUS304 | 300 | 77 | 27.4 |
| | | 77 | 4.2 |
| GFRP | 300 | 77 | 0.94 |
| | | 77 | 4.2 |

Table. 2 Heat penetration through shield supports in Large Helical Device.

| | 300K→77K | 77K→4.2K |
|------------------|----------|----------|
| ZrO ₂ | 2600W | 270W |
| SUS304 | 12600W | 1400W |

Table. 3 Flexural strength of zirconia at room and liquid nitrogen temperature (kg/mm²).

| RT | LNT |
|-------------|--------------|
| 176.1 ± 2.2 | 202.8 ± 12.1 |