

Title	ヨウデンシ ショウメツホウ ヲ モチイタ キョクテ イオン ヨウ アモルフォス ジュシ ノ セツケイ
Author(s)	ニシジマ, シゲヒロ
Citation	大阪大学低温センターだより. 87 p14-p.16
Issue Date	1994-07
oaire:version	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/11466
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

陽電子消滅法を用いた 極低温用アモルファス樹脂の設計

産業科学研究所 西嶋茂宏、誉田義英、岡田東一（吹田8491）

1 はじめに

超伝導磁石には不安定性が存在し、その運転時に超伝導状態が壊れる、いわゆる“クエンチ現象”が起こることがある。この主因の一つに、超伝導線材の電磁力による動きが挙げられる。この線材の動きを抑えるために、中小型の磁石ではエポキシ樹脂で含浸するという手法をとることが多い。含浸を施すことで磁石の性能は一般的に改善できるが、含浸が新たな問題を引き起こすことがある。すなわち、含浸材の亀裂発生に伴う発熱で、クエンチが引き起こされることである。従って、含浸材は極低温物性を考慮した選択が重要となる。

我々は、含浸材の極低温における熱特性、機械特性を総合評価し、現実的には含浸材の破壊靱性値を基準に設計、選択することを提案した。ここでは、極低温で高い破壊靱性値を示す含浸材の分子状態を、陽電子消滅法を併用し検討したのでその結果について報告する。

2 極低温での破壊靱性を決定する要因（モデルの構築）

図1に含浸材として使用されている数種類の樹脂の破壊靱性値の温度依存性について示した。（これらの樹脂の仕様は不明である。）またこの図には T_g （ガラス転移点）も示してある。まず気づくことは、室温(RT)で破壊靱性値が高い材料が必ずしも極低温でも高い靱性値 K_{IC} を示すとは限らないことである。RTでは、 T_g が最も低い材料が最も大きな破壊靱性値を示しているが、液体ヘリウム温度(LHeT)では逆に最も低い破壊靱性値を示している。

この図からはLHeTでの差は小さく見えるが、LHeT近傍での材料の比熱がRTの約1/1000であることを考えれば、大きな差であるといえる。また、RTで同程度の値を示しているもLHeTでは大きな差になることも有り得る。さらに含浸材の選択基準として T_g のみでは不十分であることが理解できる。これは、LHeTでの破壊靱性値を類推できる材料パラメータを新たに見つけた必要があることを意味している。

そこで、これらの材料について室温ではあるが、陽電子消滅法で評価することを試みた。図2に陽電子消滅法で得られた寿命の第3成分 τ_3 と破壊靱性値との関係を示した。ここで分かることは、エポキシ材料は2種類に分けられるということである。すなわち、 τ_3 が増加すると K_{IC} が大きく増加する材料と、逆に微減する材料である。 τ_3 が

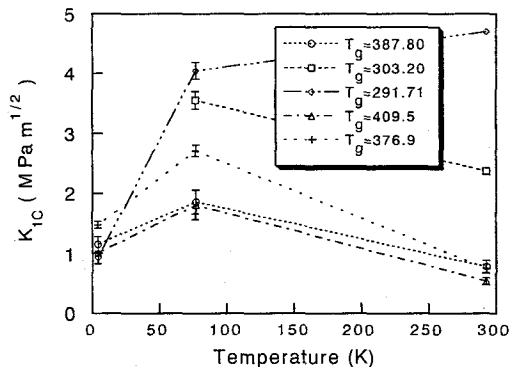


図1 実用含浸材の破壊靱性値の温度依存性

高分子材料の自由体積と関係していることを考えると、前者の材料グループは、いわゆる“自由体積”の観点で理解できるグループである。即ち自由体積が大きくなると、応力緩和が起こり易くなり、結果として破壊靱性値が大きくなると理解できる。問題は後者のグループをどのように考えるかである。

分子内自由空間という概念を取り入れ、この現象を説明することを試みた(図3)。 τ_3 は、高分子材料中で“unoccupiedspace”を反映した値であるが、いわゆる自由体積は分子間の空間と理解できる(図中Freevolume)。一方、エポキシのような三次元編目構造をとる材料は、一つの分子の中にも“unoccupiedspace”を抱き込んでいると考えられ、これも陽電子は検出するものと考えられる。ここでは、これを“分子内自由空間”(図中Freespace)と呼び自由体積と区別する。こう考えると、 τ_3 が大きくなっても分子鎖が連続しているため、亀裂は分子鎖を切断して進む必要があり、破壊靱性値は余り変化しないと理解できる。従って、前者は分子間の自由空間いわゆる自由体積であり、後者は分子内自由空間であると理解できる。こう考えると、前者は、可塑剤を加え、分子量を変化させた系であり、後者は、三次元編目構造をとっているものの、架橋間分子量が異なる材料と考えることができる。

さて、これら2種類の材料を極低温に冷却した場合を考える。極低温では、自由体積はほとんどなくなるので、前者の体系では、極低温では破壊靱性値の改善は望めなくなると考えられる。一方、後者では極低温でも分子内自由空間は保存されると考えられるので、極低温でも比較的高い破壊靱性値が望むことができるし、場合によっては、極低温では分子間力が強まるのでRTより高い破壊靱性値をとることも有り得ると考えられる。

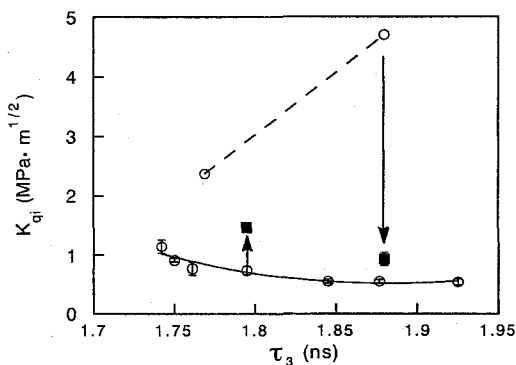


図2 破壊靱性値と τ_3 の関係。また、液体ヘリウム温度での破壊靱性値は黒四角で表している。

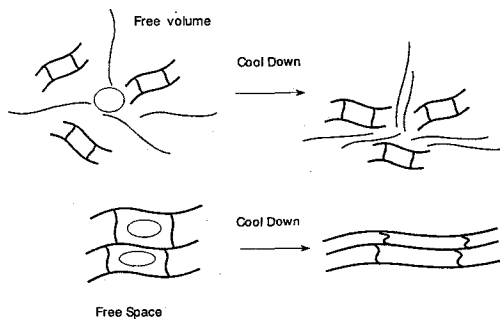


図3 自由体積と自由空間の分子構造模式図

4 モデルの実証

上記のモデルでは、自由体積のシステムでは極低温では破壊靱性値は減少し、自由空間のシステムでは破壊靱性値は余り変化しないかまたは増加することがあると予想された。そこでそれぞれのシステムで1種類ではあるが、破壊靱性値をLHeTで測定した。その結果も図2に示してある(図中黒四角)。

この図では、寿命はRTの値で示している。予想した通り、自由体積のシステムでは、破壊靱性値は大幅に低下しているのに対し、自由空間のシステムでは、破壊靱性値は室温よりも向上していることが理解できる。この実験から、本研究で考察したモデルの実証ができたとともに極低温用で高い破壊靱性値を示すエポキシの分子状態を明らかにすることができたといえる。

5 結 論

極低温でも高い破壊靱性を示すエポキシ樹脂の分子設計を可能にする目的で、陽電子消滅法を利用しエポキシ樹脂内のUNOCCUPIEDSPACEを評価し、破壊靱性値との相関について検討した結果、極低温でも高い破壊靱性値を示す樹脂の設計指針を明らかにすることができた。すなわち、エポキシはしっかりした三次元編目構造をとる必要があり、非反応性可塑性の使用は好ましくない。また、三次元編目構造をとった場合、極低温で破壊靱性値が室温より向上することがある。これは、極低温で分子間距離が短くなるために分子間力が向上し、分子の切断に大きなエネルギーが必要になるためと考えられる。