氏　名	小　野　裕　之（おの ひろゆき）
学位(専攻分野)	博　士　(工　学)
学位記番号	博　甲　第　245　号
学位授与の日付	平成13年3月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科　情報・生産科学専攻
学位論文題目	**インテリジェントマテリアルの剛性と靱性のマイクロメカニックスによる解析に関する研究**
審査委員	(主査) 教授　齋藤憲司 教授　山口克彦　　教授　中西　博

論文内容の要旨

本学位論文はTiNi繊維含有インテリジェントマテリアル、形状記憶ポリマー粒子含有インテリジェントマテリアル及び酸化ジルコニア粒子含有インテリジェントマテリアルのインテリジェンス発現機構をマイクロメカニックスの手法の1つである介在物の力学を用いて解析する手法を示したものである。学位論文は全5章から成っている。

第1章緒論では本研究の背景、目的、意義等について述べている。

第2章では、TiNi繊維含有インテリジェントマテリアルに対して、TiNi繊維の形状記憶収縮による材料中のき裂の閉鎖と材料の剛性変化に対する検討を行っている。モデル化に際しては、予め引張変態ひずみを与えて形状記憶処理したTiNi繊維が母材中のき裂を架橋している状態を想定し、加熱によって生じる繊維の収縮ひずみや繊維と母材の熱伝導率や線膨張係数の差により生じる熱膨張ひずみを考慮している。モデルを解析し、き裂の応力拡大係数K_Iと巨視的弾性係数$\bar{E}$を定式化している。これを用いてTiNi繊維／エポキシ材に対して計算した結果、加熱過程におけるK_Iの変化は、実験結果と傾向的に良く一致していることを示している。また、繊維収縮後のK_Iは収縮ひずみの増加につれて減少し、これも実験結果と傾向的に一致している。巨視的弾性係数$\bar{E}$は、材料を加熱・冷却して繊維を収縮させることで変化させうることをあきらかにしている。また、繊維収縮後の$\bar{E}$の値は、変態ひずみや繊維含有率の増加に伴って増加した。したがって、これらを調整し、加熱・冷却することで所定の大きさの剛性を有する材料が設計できる可能性があることを示している。

第3章では、形状記憶ポリマー粒子含有インテリジェントマテリアルに対して、剛性を望みのままに変化させうる材料の開発の可能性を探るために、粒子のガラス転移点T_gの分布と形状回復ひずみに対する検討を行っている。まず初めに、T_g分布に対する検討を行うために、種々のT_gを有するポリマー粒子を含む材料を想定し、材料中にはガラス粒子やゴム粒子が混在した状態を考える。これをモデル化し解析して得られた巨視的弾性係数$\bar{E}$は、粒子と母材の剛性率と体積弾性係数の関数となり、この計算結果は妥当であることを示している。次に、この結果を基にしてT_g分布に加えて形状回復ひずみに対する検討を行うために、種々のT_gを有し、予め引張あるいは圧縮の変態ひずみを与えて形状記憶処理したポリマー粒子を含む材料を想定している。モデル化に際しては、粒子と母材の線膨張係数の差による熱膨張ひずみも考慮している。このモデルを解析して$\bar{E}$を定式化し、これを計算した結果、T_g分布が単分布の場合の結果より、変態ひずみ量や粒子含有率を制御することで粒子の形状回復後の$\bar{E}$の値を測定でき、剛性の設計が可能であることを示している。また、T_g分布が連続分布の場合に、粒子の形状回復過程をその最高加熱

温度を徐々に上げて繰り返すことで基準温度における$\bar{E}$の値を徐々に変化させうることを明らかにしている。さらに、T_g分布の形を変えることで、この繰り返しによる基準温度での$\bar{E}$の変化量を制御できることを示している。

第4章では、酸化ジルコニア粒子含有インテリジェントマテリアルについて、PSZを取り上げ、酸化ジルコニア粒子の応力誘起変態による自己き裂閉鎖機構に対する検討を行っている。材料中のき裂はその周りを変態粒子からなるゾーンウェイクによって取り囲まれている状態を想定し、この領域を介在物が不均質物を取り囲む入れ子状の二重領域としてモデル化する方法を検討している。しかしながら、これを解析する方法がないため、まず初めに二重不均質介在物、介在物と不均質介在物が入れ子状になった混合二重介在物の等価式とエネルギー式を求めている。次に、PSZを混合二重介在物を用いてモデル化している。このモデルを前述の結果を用いて解析することで、粒子の変態によるエネルギー解放率の変化量を求め、これを応力拡大係数に換算した靱性増加量ΔK^Tを定式化している。この計算結果は、実験結果と極めて良く一致し、本解析結果の妥当性を証明している。また、ΔK^Tは変態ひずみと粒子含有率の増加につれて増したが、これはき裂の開口量が変態ひずみ量と粒子含有率の増加につれて減少するという結果より説明している。さらに、この原因を探るために、ゾーンウェイクの応力を計算した結果、これは常に圧縮応力となり、変態ひずみと粒子含有率の増加につれて増加していることを示している。したがって、この圧縮応力がき裂の開口を抑制することを明らかにしている。

第5章は結論であり、第2章から第4章までの結果をもとに本研究の総括を述べている。

論文審査の結果の要旨

本学位論文はインテリジェントマテリアルとしてTiNi繊維含有インテリジェントマテリアル、形状記憶ポリマー粒子含有インテリジェントマテリアル及び酸化ジルコニア粒子含有インテリジェントマテリアルを取り上げて、それぞれの材料におけるインテリジェンス発現機構をマイクロメカニックスの解析手法の1つである介在物の力学を用いて解析する手法を示したものである。

解析方法は斬新かつ精緻であり、これが本学位論文の特徴である。また、この解析手法の開発により上述の三種類のインテリジェントマテリアルだけでなく広く他のインテリジェントマテリアルの開発と設計に本学位論文は指針を与えるものと思われ、工業上の価値も認められる。

本学位論文作成の基礎となった学術論文は、以下の通りである。

(1) 小野裕之、荒木栄敏、齋藤憲司、TiNi繊維含有インテリジェントマテリアルのき裂閉鎖機構のマイクロメカニックス解析（第1報、き裂閉鎖機構のモデル化と応力拡大係数の解析）、日本機械学会論文集A編、60巻650号、(2000年)、pp.68-75.

(2) 小野裕之、荒木栄敏、齋藤憲司、TiNi繊維含有インテリジェントマテリアルのき裂閉鎖機構のマイクロメカニックス解析（第2報、TiNi繊維の形状記憶収縮過程における応力拡大係数の評価）、日本機械学会論文集A編、60巻650号、(2000年)、pp.76-82.

(3) Hiroyuki ONO, Shigetoshi ARAKI and Kenji SAITO, Micromechanical Analysis of Stiffness of TiNi/Epoxy Intelligent Material, THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS, Vol.49 (2000), pp.299-309.