

Harmonized Nano-macro-information Study on Advanced Materials with High Mechanical Properties and Reliability

ナノ・巨視・材料情報融合による先端材料の 超強靱・超高強度化・信頼性高精度評価技術の開発



プロジェクトリーダー 増井浩昭
帝京大学 理工学部 教授

1. 研究の目的

日本の産業構造の変革をはじめ、地球的規模でのエネルギー枯渇、環境汚染、地球温暖化や高齢化社会問題等緊急に対応が迫られている。これら諸問題解決の一つのブレークスルーとして、先端材料の組織制御と、その加工・形成による機器の性能の格段の向上と、その実用での信頼性の高精度評価技術の開発が緊要である。例えば、宇宙産業、エネルギー有効利用、環境汚染に関しての材料の高温耐久性、高齢化活動に関連しての生体材料の開発、新産業技術としての電子機器開発等があげられる。

ところで、機能が格段に高い物質を創製しても、実際に適用するには、所定の寸法、形状、大きさ等への加工・形成性の飛躍的向上とそれら物体を実際に適用した場合の機械的性質が、特に卓越していなければならない。

そこで本研究では、上記社会的貢献の上から、機能性の中でも機械的性質を、特に重点対象として、超性能機械的性質（強度、変形、破壊性、加工・形成性を含む）を有する物を形づくる（構成用とよんでおく）先端材料の組織制御、それを実際に適用した場合の信頼性の高精度評価技術の開発を目的とする。

他方、産業の国際化の面からは、当該先端材料の試験・評価技術の国際標準化（規格作成）の基盤を得ることによって、研究成果の国際流通、普及を格段に拡大し、産業振興に寄与することも目的の一つである。

さらに、学術上としては、超性能機械的性質の発現のためには、情報工学・技術を駆使して知的基盤データを集積し、さまざまなナノ、メゾ組織因子、巨視影響因子を抽出し、これらの融合的な研究分野の構築を目的とする。

機器としての巨視因子との非線形力学挙動解明のナノ・メゾ組織、巨視融合解析法の創出と物を形づくる（構成用とよんでおく）先端材料の機器への容易形成加工新技術の開発を行う。また、実用条件下での耐破損性、耐久性の飛躍的向上と高精度信頼性評価技術を開発する。

2. 研究の内容

先端高温材料強度・寿命のナノ・巨視融合評価技術

従来これについての系統的な研究が行われていない。本プロジェクトでは表1に示すように、成分、微視組織と平滑、切欠き、き裂材などの巨視形状に分類を行い、系統的、体系的計画のもとに研究を行っているのが一つの特徴である。

2.1 高温クリープ破壊寿命に対する材料組織の影響評価技術⁽¹⁷⁾⁽¹⁹⁾

$$\log t_r + \log \dot{\epsilon}_s = \log [M(\sigma_s, T)] \quad \dots\dots(i) \quad (\text{新提案式})$$

組織材料によって、また一般的に応力、温度T（絶対）によって変わる。

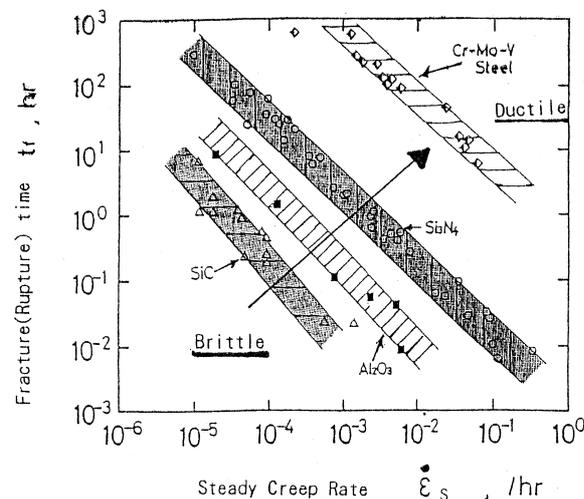


Fig. 1 The relation⁽¹⁷⁾ between creep fracture life, t_r , and steady state creep rate, $\dot{\epsilon}_s$, for various materials. (Ref. 17)

Table 1. Objective Materials Classified for Comparative Study in JSPS Program (○: carried out)

| Materials | Smooth Specimen | Notched Specimen | Cracked Specimen |
|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Ferritic Steel | | | |
| 1-Cr-Mo-V Steel | ○ | ○ | ○ |
| 2 1/4Cr-Mo Steel | | | ○ |
| 9Cr-1Mo Steel (NF 616) | ○ | ○ | ○ |
| 12Cr Steel (HR1200) (TAF650) | ○ | | ○ |
| Alloy 800 | ○ | | ○ |
| Austenitic Steel | | | |
| SUS 304 | | ○ | |
| Ni base Alloy | | | |
| Hastelloy XR | | | ○ |
| Ni base Super Alloy | | | |
| IN 100 | | | ○ |
| TiAl Intermetallics | | | |
| | ○ | | ○ |
| Ceramics | | | |
| Al ₂ O ₃ | ○ | ○ | |
| Si ₃ N ₄ | ○ | ○ | |
| SiC | ○ | | |
| Composites | | | |
| MMC | ○ | | |
| CMC | ○ | | |

2.2 新提案コントロール因子 (t / t_f) 表示による高温クリープ寿命のナノ・巨視融合評価技術^{2) 4) 9) 18)}

Master Curve の存在することを見出した。

$$\Phi \equiv \lambda_i \mu = \lambda_i \left\{ -7.93 \times 10^{-5} + 3.5 \times 10^{-2} \left[1 - \exp \left(-4.92 \frac{t}{t_f} \right) \right] + 1.20 \times 10^{-3} \left[\exp \left(4.92 \frac{t}{t_f} \right) - 1 \right] \right\} \dots (2)$$

巨視因子の影響も含む

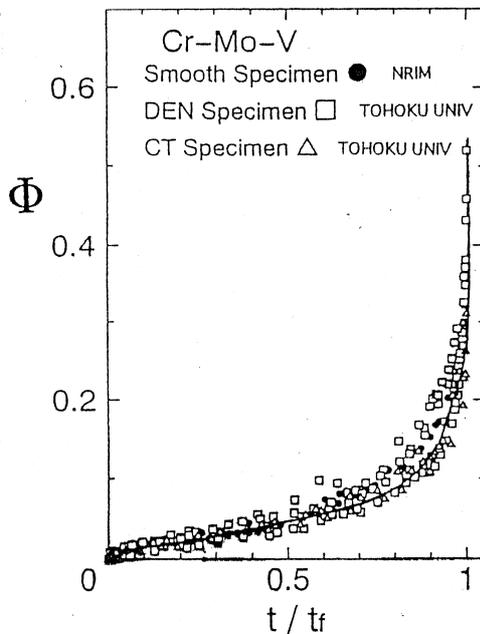
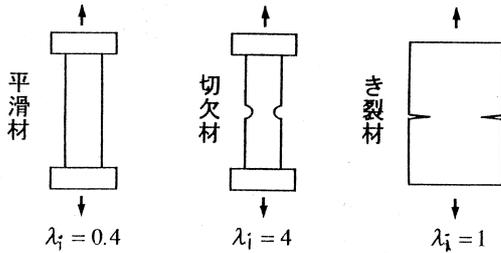


Fig.2 Master curve for non-dimensional load line creep displacement, Φ versus parametric time, t/t_f ¹⁸⁾

3. 研究の体制

期 間：1997年4月1日～2002年3月31日

構 成：プロジェクト・リーダー1名、コアメンバー2名及び研究分担者26名(海外を含む)によって構成され、その他、大学に所属する研究者、ポスドク研究者および大学院生が参加している。

実施場所：帝京大学理工学部及び東北大学大学院工学研究科をコアとして、東京大学大学院工学研究科、東京大学先端科学技術研究センター、東京工業大学原子炉研究所、及び京都大学工学部メゾ材料研究センターにおいて研究を行っている。

2.3 破壊の余寿命予測技術の構築^{13) 14)}
本研究による提案クライテリオン¹⁴⁾

$$\Lambda = t_r \dot{\epsilon} \quad (3)$$

$\dot{\epsilon}$: 現在の荷重線変位速度

t_r : クリープ破壊余寿命

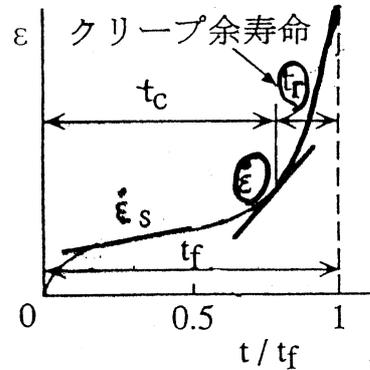


Fig.3 Prediction method¹⁴⁾ of creep remaining life, t_r , from current creep rate $\dot{\epsilon}_s$

2.4 高温クリープ破壊の国際標準試験法の基盤構築

本プロジェクトの成果の一部はベルサイユ・サミットによるプロジェクト VAMAS (Versailles Advanced Materials and Standards) を通じて ASTM の規格の中に採用された。また、わが国においても、学術振興会第129委員会基準「高温材料のクリープき裂成長標準試験法」として出版物に掲載¹⁵⁾

先端材料強度と破壊ナノ・巨視融合確立論の体型化^{15) 20)}

材料強度と破壊学 - 創造的発展と応用 - の刊行¹⁵⁾

発表論文・著作例

14) A. Toshimitsu Yokobori, Jr., and M. Prager: Materials at High Temperatures, Vol.16 No.3 (1999) pp.137-141

15) 材料強度と破壊学 - 創造的発展と応用 -、日本学術振興会先端材料強度第129委員会編、(1999) 笹気出版印刷(株)販売：技報堂出版(株)

20) 横堀武夫、材料強度と破壊の融合確率論の体型化、日本材料強度学会誌、Vol.32 No.4 (1988) pp.103-111

軽量高靱性耐熱材としての金属間化合物の開発²¹⁾

ジェットエンジンタービンディスクの軽量化、高性能化を目的としてTiAl金属間化合物について、多軸方向からの恒温鍛造を行い、結晶粒径微細化と均質化によって高温高強度化、高靱性化に成功した。これらについて、高温における強度特性、疲労特性、クリープ特性を求め、材料組織と力学特性の関連性について明らかにした。このような組織制御を行ったTiAlは、加工性が向上し、ハニカム構造への成形が可能であることも見出した。

さらにSiC繊維強化TiAl金属間化合物基複合材料を開発し宇宙産業等にも貢献した。

21) 橋本敬三：材料科学、Vol.36 No.1 (1999) pp.35-41

原子配列マクロ加工制御²²⁾

先端材料及び金属の大半は面心および体心立方晶の結晶構造からなる。自動車用薄板、電磁用鋼板や航空機用軽金属など未来産業に不可欠な金属系結晶薄板の材料強度や加工性との関連において、これまで困難とされてきた面心と体心立方結晶のナノ・マクロ非線形結晶塑性の統合理論を新たに構築することにより、計算機援用により数分で加工制御を可能とするようなこれらの材料の加工新技術を確立した。

22) H. Masui, Acta mater. Vol.47 No.17 (1999) pp.4283-4298