

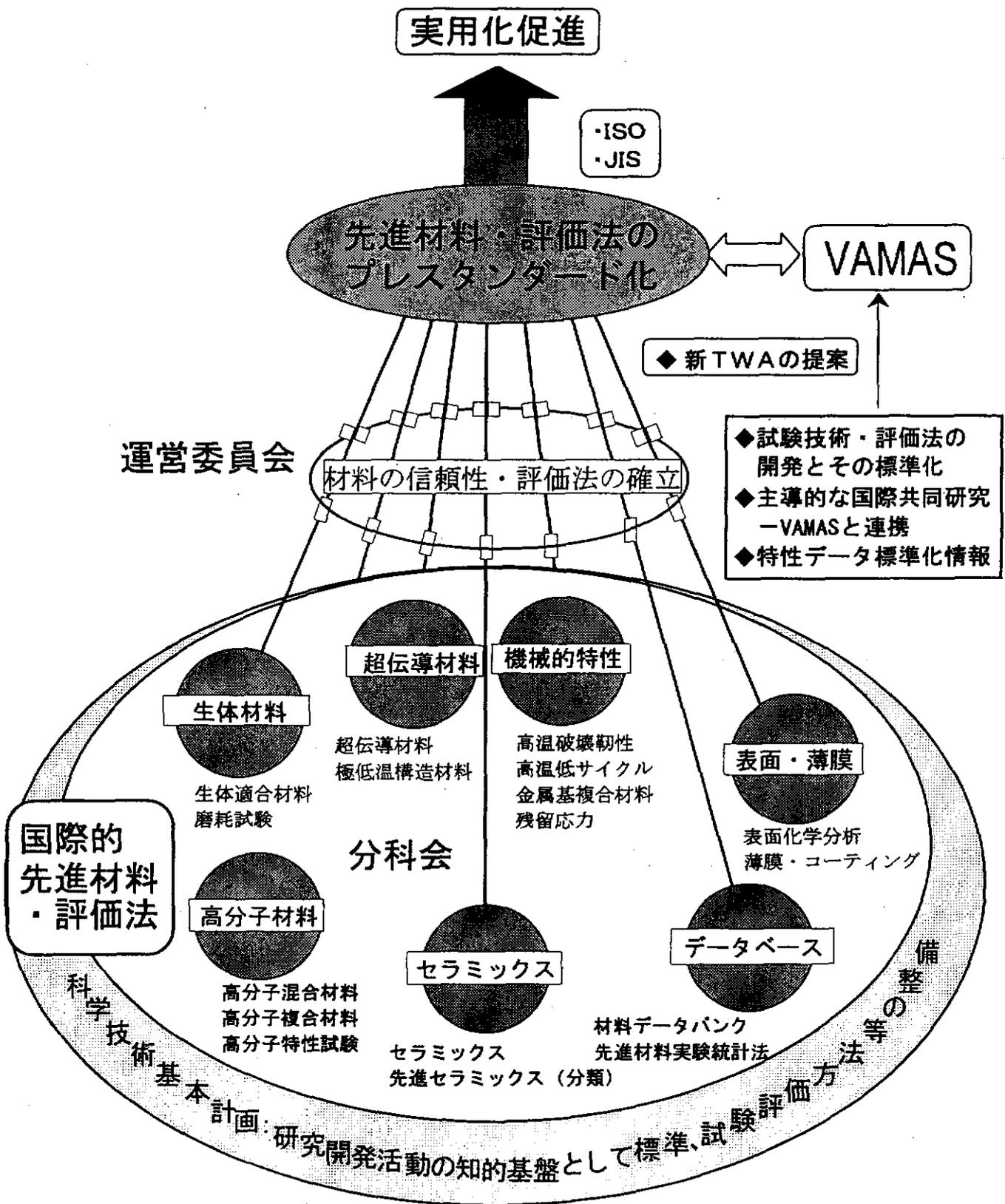
# 「国際的先進材料の実用化を促進するための基盤構築に関する研究」

(H9年～H13年度)

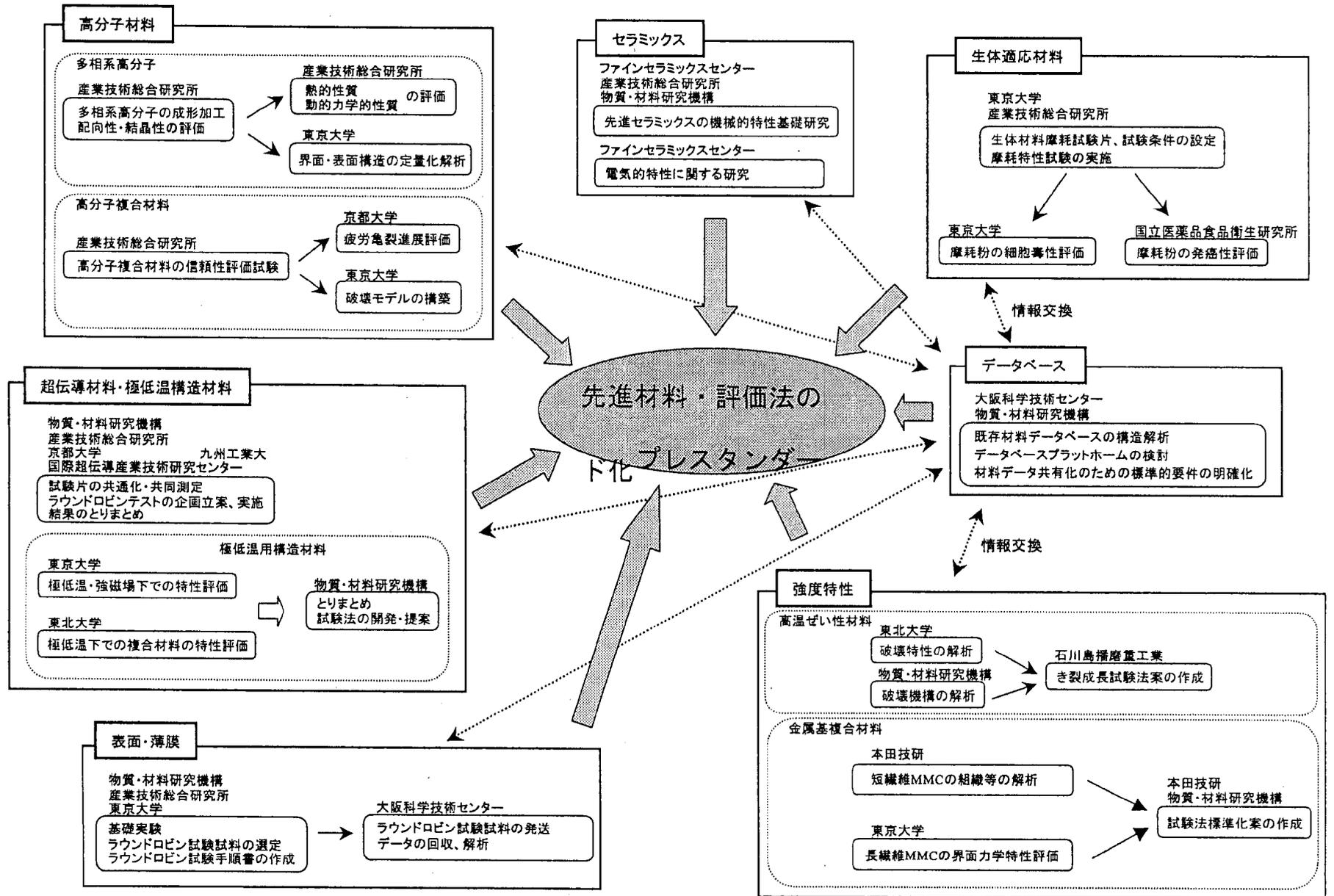
研究代表者: 齋藤 鐵哉(物質・材料研究機構) 他12機関

研究の概要・目標	諸外国の現状等	研究進展・成果がもたらす利点
<p>1 何を目指している</p> <p>比較的実用化に近い先進材料(セラミックス、生体適応材料、超伝導材料等)及び特性評価法のプレスタンダード化を行い、知的基盤として整備を図る。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"><p>5年後の目標: セラミックス高温曲げ強度の国際規格化、セラミックスの破壊靱性評価法の国際規格化、各種材料の試験方法の提案、</p></div> <p>2 何を研究している</p> <p>新たな試験技術・評価方法と情報活用手法の開発と標準化のための研究を各省庁と民間の研究機関および国際共同研究(VAMAS)と連携して行う。</p> <p>3 何が新しいのか</p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ 新しい特性評価法の開発。</li><li>○ スタンダード化されていない材料・評価法のプレスタンダード化を目指す。</li></ul> <p>VAMAS: Versailles Projects on Advanced Materials and Standards (ベルサイユサミットに基づく新材料と標準に関する国際共同研究)</p> <p>上記国際共同研究の17技術作業分科会中、本研究では15分科会に参与。</p> <p>活動例</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 超伝導材料の物性値測定法や高分子材料、複合材料、極低温材料、高温材料等の各種試験方法の国際規格化</li></ul>	<p>1 我が国の水準及び諸外国の現状</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 概ね国内の状況と同じである。</li><li>・ 対象とする材料は開発の歴史が浅く、材料によって、規格のないもの或いは各国ごとに規格の異なるものがあり、国際規格として未整備の状態である。</li></ul>	<p>1 世界との水準の関係および波及効果</p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ 日本主導の国際規格(ISO、IEC)の提案により国際規格化過程における日本の発言力が増強する。</li><li>○ 国際規格の提案採択により、当該規格の国内整備(規格の普及)がスムーズになる。</li><li>○ 当該研究分野における、国際フロントランナーとして国際社会に貢献できる。</li></ul>

「国際的先進材料の実用化を促進するための基盤構築に関する研究」



# 「国際的先進材料の実用化を促進するための基盤構築に関する研究」の研究体制



## 「国際的先進材料の実用化を促進するための基盤構築に関する研究」

調査項目	担当機関	研究担当者	平成9年度所要 経費(単位:千円)	平成10年度所要 経費(単位:千円)	平成11年度所要 経費(単位:千円)	平成12年度所要 経費(単位:千円)	平成13年度所要 経費(単位:千円)
<b>1. セラミクス</b>							
(1) 機械的特性評価に関する研究	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) (財)フラインセラムセンター(再委託)	岡田 明 大熊 英夫	26,332	25,819	43,172	40,973	25,321
	経済産業省 産業技術環境局 (独)産業技術総合研究所(委託)	阪口 修司	6,000	6,000	6,000	5,055	3,339
(2) 電気的特性評価に関する研究	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) (財)フラインセラムセンター(再委託)	田中 英彦 柴田 典義	4,845	5,120	5,044	4,448	1,843
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) (財)フラインセラムセンター(再委託)	柴田 典義	17,994	17,574	0	2,982	3,903
<b>2. 高分子材料</b>							
(1) 多相系高分子材料に関する研究	経済産業省 産業技術環境局 (独)産業技術総合研究所(委託)	中山 和郎	9,313	9,131	9,111	8,772	6,662
	東京大学大学院 工学系研究科	西 敏夫	3,010	3,210	3,147	3,078	2,161
(2) 高分子複合材料の信頼性評価技術に関する研究及び特性試験	経済産業省 産業技術環境局 (独)産業技術総合研究所(委託)	剣持 深	12,573	12,002	11,926	11,036	6,131
	東京大学大学院 工学系研究科	影山 和郎	1,810	2,000	2,009	1,967	1,775
	京都大学 工学部 マテリアル研究センター	北條 正樹	1,750	2,000	2,040	1,989	1,624
3. 生体適合性耐摩耗性高分子材料	経済産業省 産業技術環境局 (独)産業技術総合研究所(委託)	水原 和行 岩佐 美喜	11,543	11,357	11,203	10,674	7,605
	東京大学大学院 工学系研究科	立石 哲也	7,780	7,557	7,476	7,041	5,948
	厚生労働省 国立医薬品食品衛生研究所	中村 晃忠	2,580	2,581	2,540	2,347	2,084
<b>4. 超伝導材料・極低温構造材料</b>							
(1) 超伝導材料特性評価技術の確立に関する研究	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	和田 仁	19,055	17,946	17,776	17,729	18,820
	京都大学大学院 工学研究科	長村 光造	9,068	9,228	9,173	9,036	9,824
	九州工業大学 情報工学部	松下 照男	5,124	5,000	4,988	4,856	4,075
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) (財)国際超伝導産業技術研究センター(再委託)	村上 雅人	10,681	9,925	9,854	9,277	7,631
(2) 極低温用構造材料の特性評価法に関する研究	経済産業省 産業技術環境局 (独)産業技術総合研究所(委託)	幸坂 紳	10,586	9,933	9,600	9,231	8,847
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	緒形 俊夫	14,908	17,229	17,211	19,861	18,417
	東京大学大学院 工学系研究科	柴田 浩司	2,953	3,000	3,009	2,859	2,961
	東北大学大学院 工学研究科	進藤 裕英	3,284	3,441	3,406	3,306	3,044
<b>5. 強度特性</b>							
(1) 高温脆性材料に関する研究	東北大学大学院 工学研究科	横堀 寿光	2,610	2,700	2,724	2,583	2,659
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	田淵 正明	3,320	3,369	3,363	3,248	3,533
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) 石川島播磨重工業(再委託)	富士 彰夫	3,408	3,831	3,802	3,693	3,315
(2) 金属基複合材料の特性評価に関する研究	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	増田 千利	16,766	15,966	15,671	15,081	15,959
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) 關本田技術研究所(再委託)	林 直義	0	0	0	2,786	3,254
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	佐藤 光彦	2,200	2,310	2,310	0	0
	宇都宮産(再委託) 東京大学 生産技術研究所	香川 豊	2,700	2,700	2,700	2,622	2,544
<b>6. 表面・薄膜</b>							
(1) 表面化学分析	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	吉原 一敏	7,726	7,726	7,682	7,478	7,713
	経済産業省 産業技術環境局 (独)産業技術総合研究所(委託)	一村 信吾	3,475	3,545	3,511	3,355	3,329
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) (財)大阪科学技術センター(再委託)	菊地 諄一	5,852	5,709	5,605	5,280	4,880
(2) 薄膜・コーティング	東京大学大学院 工学系研究科	吉田 豊信	2,718	2,800	2,792	2,673	2,215
	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	松岡 三郎	7,023	7,335	7,215	7,030	6,620
<b>7. データベース</b>							
(1) 材料特性データベースの基本フォーマットに関する研究	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託) (財)大阪科学技術センター(再委託)	菊地 諄一	18,129	18,068	17,986	17,871	13,712
(2) 材料データベースにおける材料インターフェースの開発に関する研究	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)	原田 幸明	10,050	10,971	10,506	10,001	13,520
8. 研究推進	文部科学省 研究振興局 (独)物質・材料研究機構(委託)		37	55	243	55	2,720
合 計			267,203	267,138	264,795	260,273	227,988

## 研究成果の概要

課題名（研究代表者）：

国際的先進材料の実用化を促進するための基盤構築に関する研究（結形俊夫）

### (1) セラミックス

三種の治具と四種のSiC長繊維強化SiCを用いて圧縮強さ試験を行い、破壊挙動の研究により、信頼できる測定値が得られる条件を明らかにした。国内六機関が参加する圧縮強さラウンドロビン試験を実施し、今回の測定条件が標準規格に取り入れられると判断できた。英国実施の水酸アパタイトの相同定/定量に関するX線回折ラウンドロビン試験に参加した。これらの研究成果はISOの規格審議の基礎資料となる。2種類のアルミナ系多孔体を用いWOF法による破壊エネルギー評価方法の試験条件を明らかにし、標準的な測定規格案を作成した。セラミックス製硬さ基準片のセラミックス硬さ試験片が具有すべき特性を明らかにした。SiC焼結体の機械的特性を支配する最重要な組織因子としてアスペクト比を抽出し、セラミックスの機械的強度に影響する組織形成メカニズムを明らかにした。

圧電素子の大幅時の特性評価方法を開発し、国際標準化の必要性を確認した。セラミックス及び単結晶の圧電ひずみデータを取得した。9機関が参加する国内ラウンドロビン試験を実施し圧電ひずみデータ等を比較検討し、静的条件での評価試験方法を確立した。これらの成果を基に国際ラウンドロビン試験をVAMAS TWA24に提案した。

### (2) 高分子材料

多相系高分子材料の熔融混練条件と加工成形条件が構造、物性へ及ぼす影響を把握した。混合系を構成する各成分の動的粘弾性挙動がブレンド成分比の確認に有効であることがわかり、標準情報TR K 0005 の提案に活用した。短繊維強化複合材料のマイクロとマクロの相互作用を考慮できる3次元均質化法のプログラムを開発し、ナノメートルからマイクロメートルオーダーまでの一貫したキャラクタリゼーションが可能であることを示した。結晶性どうしの混合系で相互貫入球晶構造が生成する系を発見した。さらに多相系高分子のナノ物性評価としてナノトライボロジーの可能性を示し、新しい評価技術として提案した。

複合材料の機械的継ぎ手部のクリープ試験に関し、高温環境下において最大1万時間までのクリープデータを取得し、クリープ挙動が定常、及び加速クリープの二段階に分離出来ることを明らかにした。低温環境下や水環境における複合材料の層間破壊靱性を明らかにした。機械的継ぎ手部における破壊過程を評価出来るプログラムを開発し破壊過程シミュレーションの有効性を確認した。これらの成果は効率的な継ぎ手部設計の基礎データとして活用が期待され、また破壊過程シミュレーションプログラムは、高分子複合材料の構造体適用に関する知的基盤として寄与できる。

### (3) 生体適合性耐摩耗性材料

マクロファージが超高分子量ポリエチレン摩耗粉を貪食することにより放出されるであろう生理活性物質、インターロイキン6の定量試験法を確立した。この試験法に基

づいて試験を行ったところ、生体中で人工関節から実際に発生した超高分子量ポリエチレンを食食したマクロファージから最も高濃度のインターロイキン6が放出されることが判明した。

固体材料の摩擦耐久性を評価し、高分子材料を固体表面に固定することにより、摩擦・摩耗が低減できること、固定率を変化させることにより、制御できることを明らかにした。

#### (4)超伝導・極低温構造材料

超伝導線材の曲げ歪効果測定法では、我が国より提案した共通試験法によるラウンドロビン試験を実施し、良好な結果を得た。バルク材では捕捉磁場測定法案をIECに提出、その後の成果を加味し、着磁法などを修正した。また測定法の妥当性を検証するための国際ラウンドロビン試験を開始した。薄膜材では審議中の表面抵抗測定法案に則ったラウンドロビン試験を複数回実施し、法案の測定精度の妥当性を確認した。法案は2002年4月に国際規格となった。世界8機関の参加によりBi系酸化物テープの室温引張り試験のラウンドロビン試験を実施し、引張り試験法標準化の指針を得ることができた。また、不可逆磁場を求める多種の方法間の関係を明らかにし、標準的な不可逆磁場測定法として、最も平易な4端子法を推奨する見通しが得られた。

極低温構造材料の、極低温・高磁場における応力、ひずみ測定法の標準化に関する研究、円周切欠付き小型丸棒試験片による新極低温破壊靱性評価法の確立、複合材料の特性評価法の確立では、それぞれ国際ラウンドロビン試験を実施した結果、推奨試験法の妥当性が実証された。これらの解析結果と推奨試験法をISOに提出する TECHNICAL TRENDS ASSESSMENT (TTA) 文書を作成している。ISO/TC164/SC1に提出された金属材料の液体ヘリウム温度における引張試験法は、2001年9月に委員会原案(CD)となった。ISOとしての最終的なフォーマットに修正後、国際標準草案(DIS)としての投票を受けている。

#### (5)強度特性

第I期には、高温脆性材料のクリープき裂成長試験法の標準案をまとめ、「材料強度と破壊学」に発表した。また、VAMAS TWA19を通じてASTMに規格提案してE1457-2000に規格化された。第II期には、環状切欠試験片を用いたクリープき裂成長試験法を確立し、多軸応力下でのき裂発生・成長特性を評価する標準的方法として適用できることを示した。溶接継手熱影響部におけるき裂発生・成長特性を明らかにし試験・評価方法を標準化するための基盤を構築した。以上の成果をTWA25に報告し、高温構造物におけるき裂成長特性評価法を標準化するための基盤データを構築した。ISOへの規格提案を検討している。

VAMAS TWA15の国際共同研究の推進により、SiCw/A2009複合材料の室温における引張試験、データ解析を行い、VAMAS Technical Report 20として出版すると共に、ISO TT A-2に規格化を行った。また試験温度200℃における引張り試験を2回を行い、それらの結果をとりまとめて、VAMAS Report No. 27として出版した。さらに討議をふまえて、来年度にはISO EN1000-2へ引張試験の規格化の提案を行う予定。

粒子含有量の異なる試験片を製作し、強化粒子の含有量、分布、製造方法等の材料物性、機械的特性に及ぼす影響性に関する定量評価法の基盤を確立した。また連続繊維複合材料における室温から高温での界面力学特性評価法を開発し、疲労負荷中に複合材料

内部の界面で生じるマイクロ破壊損傷の定量評価・解析する手法を提案した。さらに国産の繊維上に軟質金属を二重コーティングすることにより、機械的特性発現のための最適界面制御法を提案した。これにより金属基複合材料の特性評価法に関する知的基盤整備に寄与できた。

#### (6) 表面・薄膜

SiO<sub>2</sub> (100nm)/Si 試料を用いて電子線照射損傷の評価法および表面変質の生じない分析条件の確立の研究を行った。Si LVV の微分ピークのピークバックグラウンド強度を用いてSi LVV 金属成分ピークを抽出する方法を考案した。これにより、正確にSi LVV 強度を測定することを可能にした。このピーク強度変化と全電子ドーズ量の関係について検討し、強度を2段階反応モデルから導かれる式で解析する手法を開発した。これにより従来は不可能であった試料損傷を起こす正確な臨界ドーズ量を決定することを可能にした。

XPS 分析においては共同実験から、X線試料損傷を評価するには銀などのピーク強度を測定してX線フラックスとすることは困難でありX線照射により分解するPVCやNC+CAの分解定数を求め、X線フラックスの指標とすべきであることがわかった。これによりPVCとNC+CAは機関間におけるX線照射量の相互比較に適した標準試料となることが示された。以上からX線照射や電子線照射の損傷の正確な評価が可能になり、正確な材料評価が行うことができ標準化に導いた。汎用性のある技術であり、知的基盤としての位置づけは高い。

膜/基板界面の付着性評価について、付着性の異なる試料を作成し、スクラッチ試験、押込試験、引張試験を実施し、引張試験で付着性の良否を明確に検出することに成功した。引張試験によって得られた結果と、極値統計解析を組み合わせた結果、界面の剥離強度を半定量的に求めることに成功した。これらの成果はVAMAS TWA22に報告され、国際ラウンドロビン試験の策定さらにはISO規格の制定へ向けた活動を支える重要な知見である。

#### (7) データベース

各種新材料のXML-DTD(Document Type Definition)に従ったデータベースの再構築、米国を中心とするMatML (Materials Markup Language) との相互比較、XMLデータベース生成システム等に関する研究を総合的に実施し、XMLによる新材料データベース構造の再構築を行った。国際標準を視野に入れた材料データベースの将来についてXML利用の検討を行い材料データ構造を定義したXML-DTDを作成した。MatMLとXML-DTDデータベースの基本フォーマットの相互検討を行いデータ項目の数、表現方法に相違を見出した。

インターネット上の相互利用に対応する基本システムを開発し、LAN内によるデータベース検索を可能とした。さらに、XMLを用いて作成したDTDをデータベースのテンプレートとして取扱う機能をシステムに加え、XMLを反映した。また、クリーブ破断データ及び疲労特性データに対して一般的な統計解析及び時間温度パラメータ法などのインターフェイスを導入し、専門的解析が可能となった。このテンプレートは、材料特性データの相互利用及び材料データベース構築、整備のための標準的なガイドとして期待できる。

## 研究成果公表等の状況

課題名 (研究代表者) : 国際的先進材料の実用化を促進するための基盤構築に関する研究 (緒形俊夫)

研究成果発表等】(平成9年度～13年度)

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	第Ⅰ期 34件	第Ⅰ期 33件	第Ⅰ期 160件	第Ⅰ期 227件
	第Ⅱ期 35(2)件	第Ⅱ期 36件	第Ⅱ期 194件	第Ⅱ期 265件
国外	第Ⅰ期 107件	第Ⅰ期 6件	第Ⅰ期 79件	第Ⅰ期 192件
	第Ⅱ期 174(3)件	第Ⅱ期 18(1)件	第Ⅱ期 87件	第Ⅱ期 279件
合計	第Ⅰ期 141件	第Ⅰ期 39件	第Ⅰ期 239件	第Ⅰ期 419件
	第Ⅱ期 209(5)件	第Ⅱ期 54(1)件	第Ⅱ期 281件	第Ⅱ期 544件

(注: 既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

### 【特許出願等】

第Ⅱ期 16件 (国内16件、国外 0件)

### 【受賞等】

第Ⅰ期 3件 (国内 2件、国外 1件)

- ・ Polymer Journal論文賞 (平成11年5月) 東大 西敏夫、池原飛之
- ・ 日本材料学会高温強度部門躍進賞 (平成11年12月) NIMS 田淵正明
- ・ 日本鉄鋼協会西山記念賞 (平成12年3月) NIMS 緒形俊夫

第Ⅱ期 2件 (国内 2件、国外 0件)

- ・ 日本材料学会論文賞 (平成13年5月) 京大 北條正樹
- ・ 日本接着学会論文賞 (平成13年7月) 京大 北條正樹

【主要雑誌への研究成果発表】（平成12年度～13年度、\*はI期分の数）

Journal	Impact Factor	#7* 1	#7* 2	#7* 3	#7* 4	#7* 5	#7* 6	#7* 7	合計
【セラミックス】									
J. American Ceramic Soc	1.75	4				3			12.25
【高分子材料】									
J. Appl. Physics	2.180		1						2.180
J. Polymer Science. A	1.975		1*						1.975
J. Appl. Polymer Science	0.992		3+3*						5.952
Int. J. Fatigue	0.957		1						0.957
Advanced Composite Materials	0.357		1+5*						2.142
Polymer	1.529		1*						1.529
J. Polym. Si. B	1.180		1*						1.180
Polymer J	0.941		5*						4.705
Composites Sci. & Tech.	0.812		1*						0.812
Polym. & Polym. Composite	0.368		2*						0.736
【生体・磨耗】									
日本金属学会誌				1					
Tribology Trans				3					
J Tribology	0.333			1					0.333
Mat Sci Eng	0.619			1					1.857
Tissue Eng	0.667			2					0.667
J Biomed Mat Res	0.150			1					0.150
【超伝導・極低温構造材料】									
Physica C	2.105								2.105
Applied Physics Letters					8				
Supercond. Sci. Technol.	1.489				1		2*		11.912
Cryogenics	3.906				1				11.718
IEEE Trans. Appl. Supercon.	1.25				2				1.25
Adv. in Cryogenic Engineering	0.554				3				1.108
【高温材料】	0.791				(12)				2.373
Int. J. Press. Vessels & Piping									
Philosophical Magazine						6			
Metall. and Materials Trans. A	0.267					1			1.602
Materials Sc. and Engineer. A	1.53					1+3*			1.53
Composites Sci. and Techno. A	1.27					4+2*			5.08
Materials Transaction JIM	0.98					1			5.88
J. of Microscopy Oxford	0.81					1			0.81
Acta Materialia	0.92					1			0.92
【表面・薄膜】	1.47								1.47
Surf. Interface Anal.	2.17					3*			6.51
J. Vac/ Sci. Technol. B							8+2*		
Appl. Surf. Sci.	1.215						2+2*		12.15
J. J. Appl. Phys.	1.605						1+1*		6.42
Surf. Sci.	1.222						4		2.444
Rev. Sic, Instrum.	1.157						1		4.628
Surface and Coating Tech.	2.198						1		4.396
Acta Materialia	1.239						1		2.478
Thin Solid Films	1.002						1		1.002
【データベース】	2.166						3		2.166
材料学会	1.16							(1)	3.48
主要雑誌小計		4	25	11	15	25	29		
発表論文合計		5	75	19	41	46	61	1	

サブ1：セラミックス    サブ2：高分子材料    サブ3：生体適合性耐磨耗性材料  
 サブ4：超伝導材料・極低温構造材料    サブ5：強度特性  
 サブ6：表面化学分析    サブ7：データベース

【提案・制定した規格】（本課題と連携したVAMASの成果などをもとに標準化を提案）

1. ISO 14976: Data transfer format (1988年制定)
2. ISO 14237: Secondary-ion mass spectrometry -- Determination of boron atomic concentration in silicon using uniformly doped materials (2001年制定)
3. ISO 14606: Sputter depth profiling -- Optimization using layered systems as reference materials (2001年制定)
4. ISO 14706: Determination of surface elemental contamination on silicon wafers by total-reflection X-ray fluorescence (TXRF) spectroscopy (2001年制定)
5. ISO 14707: Glow discharge optical emission spectrometry (GD-OES) -- Introduction to use
6. ISO 14975: Information formats (2001年制定)
7. ISO 18115: Vocabulary (2002年制定)
8. ISO/TR 15969: Depth profiling -- Measurement of sputtered depth (2002年制定)
9. ISO 15472: X-ray photoelectron spectrometers -- Calibration of energy scales (2002年制定)
10. IEC 60050-815: International Electrotechnical Vocabulary(IEV) - Part 815: Superconductivity (2000年制定)
11. IEC 61788-2: DC critical current of Nb<sub>3</sub>Sn composite superconductors (1999年制定)
12. IEC 61788-3: DC critical current of Ag-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxides superconductors (2000年制定)
13. IEC 61788-7: Surface resistance of superconductors at microwave frequencies (2002年制定)
14. IEC 61788-8: Measurement of AC losses in superconducting wires-Pick-up-coil method (1999年提案)
15. IEC 61788-9: Trapped flux density in large grain oxide superconductors (2000年提案)
16. IEC 61788-10: Critical temperature of composite superconductors (2002年制定)
17. IEC 61788-13: Measurement of AC losses in superconducting wires-Magnetometer method (1999年提案)
18. ISO/DIS 19819 "Metallic Materials - Tensile Testing in Liquid Helium"  
(2000年提案2003年制定予定、提案母体VAMAS)
19. JIS H 7005: 超電導用語 (1999年制定)
20. JIS H 7301: ニオブ3すず複合超電導線の直流臨界電流試験方法 (1999年制定)
21. JIS H 7305: 銀シースピスマス2212及び2223酸化物超電導線の直流臨界電流試験方法 (2002年制定)
22. ISO 14705: Ceramic, Hardness
23. ISO 15732: Ceramic, Fracture toughness
24. ISO 17565: Ceramic, Flexural strength
25. ISO 13779-3: Ceramic, Phase composition & crystallinity in hydroxyapatite