

目 次

“セラミックスの機械的性質”刊行にあたって.....	iii
講座開講にあたって	v

I. 結 論..... 1

1. 本講座の考え方とその特徴	1	げた理由	2
2. セラミックスの機械的性質をとりあ		3. 本講座の内容概説	2

II. 固体の機械的性質序論..... 5

1. 応力とひずみ.....	5	2. 原子間力と固体の理想強度	10
1.1 固体内の応力	5	2.1 原子間力	10
1.2 微小ひずみと弾性率	6	2.2 固体の理論引張り強度	11
1.3 応力-ひずみ曲線.....	7	2.3 固体の理論せん断強度	12
1.4 クリープと粘弾性	8	文 献.....	12

III. セラミックスの強度理論.....13

1. 破壊力学	13	2.4 塑性変形によるき裂の発生	20
1.1 き裂による応力集中	13	3. セラミックス強度の統計表示.....	21
1.2 グリフィスの理論とき裂拡大力	14	3.1 強度の統計表示	21
1.3 線型破壊力学の基本概念	15	3.2 ワイブル統計	22
1.4 応力拡大係数の数値例	16	3.2.1 ワイブル分布関数	22
2. 転移論とセラミックス	18	3.2.2 寸法効果	22
2.1 バイエルズ力	18	3.2.3 試験法による強度の差	22
2.2 転位の移動と塑性変形	19	3.2.4 破壊確率の検定	23
2.3 多結晶体の塑性変形	20	文 献.....	23

IV. セラミックスの微構造と機械的性質25

1. セラミックスの機械的性質の特徴と 微構造との関係	25	6. 気孔やき裂の大きさなどの影響	36
2. 微構造試験方法	27	7. 粒子の大きさの影響.....	36
2.1 X線回折法	28	8. 粒子境界の影響	37
2.2 偏光顕微鏡観察法	29	9. 内部応力による影響.....	38
2.3 反射顕微鏡観察法	30	10. ガラス相を伴うセラミックス— 磁器素地の強度	40
2.4 電子顕微鏡観察法, その他の試験法	31	11. 複合材料の強度	43
3. ヤング率に影響を与える要因	32	12. セラミックスの強化.....	45
4. 機械的強度と気孔率	33	む す び	46
5. 強度に及ぼす気孔やき裂先端の曲率 半径の影響.....	34	文 献.....	46

V. ガラスの強度	49
1. はじめに	49
2. 結晶体と非晶体	49
3. ガラスの理論強度	50
4. グリフィスキ裂と実用強度	50
5. 加傷強度	51
6. 処女ガラスの強度	52
7. き裂の伸長と破壊力学	53
8. 静的疲労	55
9. むすび	56
文 献	57
VI. 機械的性質の把握とその評価方法	59
1. 機械的性質の把握	59
2. 曲げ強さ	59
2.1 試験方法とデータの整理	59
2.2 強度データの評価	61
2.3 高温強度	63
3. 引張り強さ	64
4. 圧縮強さ	65
5. 圧環強さ	65
文 献	66
6. クリープ試験	66
6.1 はじめに	66
6.2 曲げクリープ	67
6.3 引張りクリープ	68
文 献	69
7. 熱衝撃	69
7.1 熱衝撃抵抗	69
7.2 各種理論抵抗係数	70
7.2.1 破壊抵抗係数	70
7.2.2 損傷抵抗係数	70
7.2.3 クラック安定係数	71
7.3 熱衝撃試験法	71
7.3.1 急熱急冷繰返し法	72
7.3.2 急冷強度測定法	72
7.3.3 よく射急熱法	73
むすび	74
文 献	75
8. 摩擦と摩耗——機械的性質との 関連——	75
8.1 はじめに	75
8.2 摩耗過程	75
8.3 セラミックスの摩擦と摩耗	77
8.3.1 結晶方位の影響	77
8.3.2 ふん囲気の影響	78
8.3.3 摩擦摩耗測定上の注意事項	82
8.4 セラミックス等の硬さや強さとふん囲 気の関係	82
8.5 セラミックスの摩擦と摩耗に関するふ ん囲気特性の説明	83
8.6 セラミックスの高温における摩擦係数	85
8.7 むすび	85
文 献	85
9. 摩擦と摩耗の試験方法	85
9.1 はじめに	85
9.2 摩擦と摩耗に影響を及ぼす因子	85
9.2.1 温 度	86
9.2.2 荷 重	86
9.2.3 摺動速度	86
9.2.4 接触面積とその形状	86
9.2.5 摺動距離	86
9.2.6 ふん囲気	86
9.2.7 材料物性	87
9.2.8 表面仕上げ	87
9.2.9 振 動	87
9.2.10 潤滑の形式	87
9.3 試験機の種類	87
9.3.1 基礎研究のための試験	87
9.3.2 材料のキャラクタリゼーションと 比較	87
9.3.3 潤滑剤の評価	87
9.3.4 使用条件のシミュレーション	88
9.4 摩擦と摩耗試験の実施方法	88
9.4.1 荷 重	88
9.4.2 摺動速度	88
9.4.3 摩 擦 力	88
9.4.4 ふん囲気	88
9.4.5 バルク温度	88
9.4.6 皮膜厚さ	88
9.4.7 表面温度	88
9.4.8 接触抵抗	88
9.4.9 摩 耗 量	89
9.4.10 表面の損傷	89
9.5 代表的な試験装置	89
9.6 むすび	92
文 献	92
10. 材料の破壊とフラクチャーメカニッ クス	96
10.1 グリフィスの破壊理論と応力拡大係数	96
10.2 サブクリティカルクラックグロースと	

K_I - V カーブ	96	12.3 音速、弾性定数及び伝搬損失の測定例...	122
10.3 K_I 及び V の測定法及び測定例	96	12.3.1 エコーの観測	122
10.3.1 D.C.B. 法	96	12.3.2 窒化物セラミックスでの音波特性 測定	123
10.3.2 D.T. 法	97	12.4 高温における音速測定	123
10.4 フラクチャーメカニックスの応用	97	12.5 セラミックスの物性と音速	124
文 献	99	12.5.1 気孔率と音速、複合焼結材での音 速	124
11. 光 弾 性	99	12.5.2 多結晶構造と音波伝搬損失	125
11.1 応力と複屈折、レターディション	99	12.5.3 ホットプレス焼結セラミックスに おける音速異方性	127
11.2 結晶の複屈折	100	12.6 レーリー波によるキャラクタリゼーシ ョン——表面強化ガラスの場合—— ..	129
11.3 偏光とその干渉現象	100	12.6.1 レーリー波とは	129
11.3.1 光の性質	100	12.6.2 強化処理したガラス表面のレーリ ー波による特性評価	129
11.3.2 電場ベクトル	101	12.7 超音波による欠陥の検出——品質管理、 製品検査への応用——	130
11.3.3 自然光と偏光	101	12.7.1 欠陥検出のための基礎データ	131
11.3.4 直線偏光	102	12.7.2 欠陥からの直接反射波を検出する 方法	131
11.3.5 楕円偏光	102	12.7.3 多重反射エコーの振幅変化による 欠陥検出法	132
11.3.6 円偏光と四分の一波長板	103	12.8 AE 計測技術のセラミック特性評価へ の応用	132
11.4 光弾性実験	103	12.8.1 AE計測法——基本的な測定装置...	133
11.4.1 直線偏光法	103	12.8.2 セラミックスにおける AE	133
11.4.2 円偏光法	107	12.9 強誘電性セラミックスの分極により誘 致される音速異方性	134
11.5 光弾性装置用材料	108	12.10 超音波によるセラミック材料の評価の 今後——むすびにかえて	135
11.5.1 偏 光 板	108	文 献	135
11.5.2 水晶光楔	109	13. おわりに——測定値のまとめ方とそ の解釈	136
11.5.3 鋭敏色板	109	13.1 機械的性質測定上のキーポイントとデ ータのまとめ方	136
11.5.4 四分の一波長板	110	13.2 試験測定値と現場データとの違い	137
11.6 光弾性定数の測定	110	13.2.1 ユーザーにおける材料評価の実状 ..	137
11.7 特殊な光弾性技術	111	13.2.2 試験測定値と現場データとの食違 いの原因	138
11.7.1 散乱光弾性	111	12.2.3 メーカーサイドに立った材料評価 の方法	138
11.7.2 蛍光光弾性	112	文 献	139
11.7.3 ガラスの表面応力の測定	112		
11.7.4 結晶の光弾性	114		
11.8 光弾性実験にあたって	114		
文 献	114		
12. 超音波によるセラミックスの特性評 価——音速弾性定数の測定及び品質 管理などへの応用——	115		
12.1 はじめに	115		
12.2 音波特性、弾性定数の測定法	116		
12.2.1 音速と弾性定数の関係——等方体 の場合	116		
12.2.2 音速測定法	117		
12.2.3 音速測定用試料、振動子及び接着 剤	121		
12.2.4 音波伝搬損失の測定	122		
VII. セラミックスの製造操作と強度の関係	141		
1. セラミックスの強度と製造操作上の 因子	141	2.1 原料製造履歴の影響	142
2. 加熱以前の操作の影響	142	2.2 粒度配合の影響	143
		2.3 乾燥過程	144

2.4 熱分解、仮焼	145	3.3 焼成ふん囲気の効果	150
2.5 粉碎及び混合	145	3.4 ホットプレス法	150
2.6 造 粒	147	3.5 添加物効果	150
2.7 圧粉体 (成形方法・成形圧)	147	3.6 焼結後の処理効果	151
3. 加熱以前の操作過程の影響	147	4. む す び	151
3.1 固体反応	148	文 献	152
3.2 加熱時間、加熱温度の影響	150		

VIII. セラミックスにおける疲労寿命の予測

1. 機械的応力下での疲労	155	2.1 静的熱疲労	159
1.1 静的疲労	155	2.2 動的熱疲労	160
1.2 動的疲労	156	2.3 T-SPT 線図	161
1.3 SPT 線図	156	文 献	162
2. 熱応力による疲労 (熱疲労)	158		

IX. セラミックスの材料設計

1. 重視されつつあるセラミックスの機械的性質	163	4.1.4 破壊エネルギー	171
2. セラミックスが高温機械部品となるには	164	4.2 耐 熱 性	172
3. セラミックスの高温強度に影響する要因	164	5. フラクトグラフィと材料設計	173
3.1 高温強度に関連した構造因子	165	5.1 破面観察の方法	173
3.2 微構造と高温強度	165	5.2 破面の一般的性質	173
3.2.1 構成相と高温強度	165	5.2.1 粒界破壊と粒内破壊	173
3.2.2 気孔率と高温強度	166	5.2.2 微構造と破面	174
3.2.3 結晶粒形及び粒径と高温強度	166	5.3 破壊発生源と破面	174
3.3 ふん囲気、形状の効果	167	5.4 破壊発生源	174
文 献	167	5.5 高温破面	175
4. セラミックスの高温性能に影響する要因	168	文 献	177
4.1 耐熱衝撃性に影響する諸因子	168	6. 高温高強度セラミックス	177
4.1.1 熱膨張率	168	7. 高温高強度化のための必要条件	178
4.1.2 熱伝導率	170	8. 高温高強度化のための材料設計指針	178
4.1.3 ヤング率	170	8.1 窒化ケイ素	178
		8.2 窒化アルミニウム	180
		9. 高温材料としての高温高強度窒化物	180
		文 献	181

X. “セラミックスの機械的性質” を終るにあたって

文 献	184
-----------	-----