精密機構部品設計者から見たファインセラミックス*

塩 見 忠 義**

Ceramics for Precise Structure / Tadayoshi SHIOMI

Key words: technical ceramics, air spindle, air slide, low inertia, low thermal expansion

1. はじめに

機械工学は最も古典的な工学の一つに属している。この体系化された学問に、新しい可能性を広げるものとして期待されて登場したのが新素材と半導体（コンピュータ）である。

ファインセラミックスは新素材の一つである。

一時期、時代の寵児としてもはやされたファインセラミックスであったがブームは鎮静化したのか？ファインセラミックスに何が起こったのだろうか？多くの企業が参入を試みたがうまくゆかなかった！なぜだろうか？構造用精密セラミックス部品の開発を担当してきた者の目からファインセラミックスとの付き合い方を考えてみたい。

2. 構造用ファインセラミックスの時流

構造用ファインセラミックスも物に新しい付加価値、すなわち情報が加わり、情報のウェイトが次第に大きくなってきた。

近年の構造用ファインセラミックスの時流の概念を図1に示す。縦軸に製品の物と情報の占める割合を、横軸に時代の推移を示す。

2.1 重厚長大産業時代

工業用構造材料としてのファインセラミックスは重厚長大工業の中からのスタートであった。

品質の安定した工業製品を多量に安

価に製造するハイテク先端技術として重用された。

「さびない、腐らない」「燃えない」「硬い」セラミックスの素材の持つこれらの性質がそのまま利用された。化学プラントのポンプ、パルプは耐食性、耐摩耗性の必要性から、自動車製造ラインの自動溶接ロボットの先端ノズルは耐熱性により、製鉄には耐熱性、耐摩耗性により、製紙には耐食性、耐摩耗性等により使用された。

すなわち、過酷な使用条件に耐えて、セラミックスのメリットが発揮される構造設計の模索時代であり、金属材料の設計コンセプトとの戦いであった。

開発には多くの時間と経費を必要とするが市場は限られている。これが現実の姿であり、セラミックスフィーバー以降多くの企業が参入を発表したが、勝手が違って断念した理由の一つである。

2.2 ファインセラミックスルネッサンス（ファインセラミックス文化の曙）

2つの事件がファインセラミックスと大衆とを一気

図1 構造用ファインセラミックスの時流概念

* 原稿受付 昭和63年5月16日

** 京セラ(株) (京都市山科区東野北井ノ上町5-22)

図2 先端技術の大衆化

に近付けた。2つの事件とは、「スペースシャトルのタイル剥がれ」と「セラミックエンジン搭載車の世界初の試走」である。従来、米国を中心として軍需により開発された技術が大衆に利用されることを fall out technology と称した。代表的な例に「NASA からフライパン」がある。軍需産業—先端産業—大衆、この間の時間遅れで次世代の新製品の予測がある程度できた米国へ新製品のヒントを求めたものである。

ところで、今の日本は最早 fall out technology ではなく先端技術からの slide technology (skitted technology) であり時間的余裕が無く、何が出てくるかわからない状態になりつつあるといわれている(図2)。

先端技術の slide technology として数々のファインセラミックスグッズが生まれている。はさみ、包丁、ヒータ、筆記具、装身具、遠赤外、スパイクシューズ、ゴルフクラブ等である。この期を境にファインセラミックフィーバーに突入することになる。

2.3 軽薄短小産業時代

素材の特長を活かして利用されてきたセラミックスに情報が次々と付加されて高密度高精度時代の構造材料として他の材料からは得られない特徴を見せ始めたのである。古くて新しいファインセラミックスの魅力の再発見時代に入った。

新しい情報とは設計情報、評価情報、製造技術情報等である。設計情報では重厚長大で蓄えた構造設計のノウハウを基礎に、コンピュータが積極的に活用されている。熱応力解析や遠心応力解析により集中応力発生シミュレーションを行い最適設計が可能となっている。評価の分野においてもコンピュータが力を発揮する。多くの測定データのインプロセス処理が可能であり自動化にも貢献する。現象を分析して原因を探り設計に反映させることも行われている。

製造技術情報については、高純度化・ニアネットシェイプ成形・高密度化・高強度化・高精度化等であるが、ここでは高精度加工に関して話を進める。

ファインセラミックスの精密加工の量産化技術の実用化はプリンタワイヤガイド、VTR テープガイド、ワイヤボンディングキャピラリー、光コネクタフェルルール等のコンピュータ、半導体、電子機器関連部品からのスタートであった。

最近ではセラミックス超精密機構ユニットが実用化され先端技術の開発、製造装置の不可欠な機素となっている。超精密機構ユニットは回転運動と直進運動に分かれる。各々の運動精度は駆動装置を取り付けた状態で回転精度 $0.03 \mu\text{m}$ 、直進精度 $1''$ ($1'' = 1''/3600$ 、すなわち大阪から西武ライオンズ球場でヘルメットを被ってバッターボックスに立つ清原選手を見たときの視角と同じ、 $188 \text{ cm}/400 \text{ km}$)を実現している。これらの超精密機構ユニットは軽薄短小工業での精密部品の量産において極めて優れた成果を出している。先端生産技術であるため具体的な説明は控えさせていただくが、2例をご紹介します。A社では超精密旋削工程で金属製スピンドルを当方で製作したセラミック製に変更することにより加工サイクルを短縮し50%生産性を向上させることに成功した。素材の軽量化によりイナーシャが小さいメリットを活かしたものである。超精密加工工程であるため加工機械及び環境設備(空調・防振)投資額は多大なものとなるが、生産性向上の成果は極めて大きい。B社ではプラスチックレンズの旋削加工にセラミックススピンドルを使用することにより仕上加工面粗さが5~10倍と飛躍的に向上し、従来行っていた仕上加工を省略できた。同時に製品が安定し不良率が従来の1/2に減少した。素材の低熱膨張、精密加工性及び設計の工夫によるものである。いずれのケースもセラミックススピンドルの採用を決定した担当者は会社トップから顕彰されている。これからはオプトメカトロニクス時代が更にまじかに迫ってくる。高密度・高速時代に対応してゆかねばならない。高精度部品を廉価に多量に必要とするため、ファインセラミックスは製品として用いられたり、製品を作る生産技術に欠くことの出来ないものとなっていくであろう。

3. 構造用セラミックス普及への壁

「曲げる、伸ばす、溶接する」が常識の構造材料の現代社会に、ファインセラミックスが飛び込んできた。従来のシステムに全く異なったシステムが融合し機能するために、インタフェースをどのように準備し組み立てるかが大切である。設計者がセラミックスを用いて目的を達成しようとする場合2つのインタフェースがある(図3)。

図3 ブレークスルーへのシステム

3.1 1st インタフェース（設計者—セラミックス）

この場合の問題点は設計者がセラミックスがわからないための失敗である。金属材料の常識との戦いである。塑性変形がない、溶接出来ない、更に焼成工程という製造プロセスの特異性が戸惑いを与える。焼成工程があるためユーザ側での造形に限度がある。精度とコストのバランスも理解しにくい。

ここではセラミックス製造技術者との連携の仕方が成否の鍵を握る。設計・開発のスタート時点からの連携が望ましい。成形性、量産性、精密加工性等を利用することにより金属より安価に高精度製品に対応している場合がある。

セラミックスの構造設計の金属設計との相違点及び注意点を挙げる。

(1) セラミックスは弾性変形のみである。

材料力学の適用が容易である。コンピュータ応力解析を有効に利用できる。

(2) 圧縮モードで設計する。

セラミックスは引張強度と圧縮強度の比が1/10であり、ぜい性材料特有の性質を示す。

(3) 応力集中

セラミックスは弾性変形のみで塑性変形が見られない。このために応力緩和が期待出来ない。

(a) 形状 切欠き(鋭い切欠きを避ける。ねじ等には不適)

(b) 集中荷重 焼きばめ(負荷バランスに留意)、ヘルツの応力(ヤング率が高いため、金属より大きな値を示す)

(c) 熱ひずみ(熱応力) 局部温度差(使用温度条件/大型製品)

(d) 表面粗さ 一般に負荷が加わる場合、最大応力は表面に発生する(破壊の発生源は表面)。表面粗さの強度に及ぼす影響は大(加工方法、方向により異なるが、表面粗さがおおむね $1\mu\text{m}$ 以下になると強度に及ぼす影響が少なくなる)。

(4) 熱膨張

金属等、他材質との熱膨張差の考慮(破壊しない、弛まない)。

緩衝材・テーパ構造・弾性体等の利用。

(5) 機械的衝撃

エネルギーの吸収が少なく衝撃に弱い。

機械的衝撃から保護されなければならない。

特に引張応力が衝撃で加わらないようにする(リングの内径に衝撃が加わると壊れやすい)。

(6) 熱衝撃

機械的衝撃と同様にエネルギーの吸収が少なく衝撃に弱い。

急冷の場合は表面に引張応力が発生し、急熱の場合に比べて弱い。

3.2 2nd インタフェース（セラミックス—目的）

この場合の問題は材料技術者が設計技術を知らないためにする失敗である。

典型的なケースに金属図面を用いてそのままセラミックスで製作する場合がある。肉厚小の上に絞り、かしめ、溶接も含まれた複雑形状のため成形難/焼成変形と製造に大変なコストと苦労がかかる。出来上がった製品は強度不足で実装には耐えられない。

使用者側の技術者との緊密な情報交換が必要である。別の大きな誤りに「目的と手段の混乱」がある。

目的を達成する手段としてセラミックスを使うはずが、セラミックスそのものが目的となり焦点をぼかせてしまう。

セラミックスフィーバー以降、構造用セラミックスを手懸ける企業が多く発表された。「金余り、人余り」「バスに乗り遅れるな」との理由で始めた企業では何を作っても良いかわからない(作るものがない)。従って先行他社の製品を作る。ところが新分野であるため市場が限定される。特許の網でおおわれている可能性が高い。市場が限定されているために思い切った施策が打てない。故にコスト対応が出来ない。

ファインセラミックスが力を発揮してゆくためには「量の時代から個の時代へ」対応のオリジナリティが求められる。

4. ファインセラミックスのメリット

精密機構部品にとりファインセラミックスはどのようなメリットを持っているのか使用者の立場から簡単に述べる。

(1) ヤング率が高い。

(a) 負荷(外力)に対して寸法変化が少ない。

高精度部品、部材の軽量化(肉厚小)。

(b) 自重に対して寸法変化が少ない(自重自身

も軽い).

遠心力の影響も少ない.

(c) 微細構造部品に適する.

軽薄短小, 高密度化, 光の時代.

(2) 比重が低い

• 慣性 (イナーシャ) が小さい.

(a) 加工サイクルが短い.

(b) 制御が容易 (短時間高速位置決め).

• アンバランス量が少ない (高速運動ではアンバランスが振動の発生源となる).

• ハンドリングが楽 (女性にも取扱い可能).

(3) 塑性変形をしない.

• 打痕, 傷による凸のための精度劣化がない.

(a) 加工時チャッキング, ハンドリングの傷が付かない.

(b) 部品として, 自動組立に適する.

• バリ (かえり) の発生が無い.

(4) 熱膨張が小さい.

• 使用中に温度が加わっても変形が少ない.
磁気ヘッドジグなどに利用される.

• (環境管理されていない) 悪条件下での寸法安定性

(5) 耐熱性

• 高温下での組織変化が無く寸法安定性, 再現性あり. 熱処理ジグ等に応用される.

• 局部接触や微小塵芥による焼付き現象が発生し無い.

(6) 耐食性

• 高精度部品の煩雑な防錆処理が不要 (女性にも取扱い簡単).

(a) 直接触れても (指紋等の) さびが発生しない (特に高温多湿時).

(b) 防錆処理が不要で油膜 (防錆油) による計測精度誤差が発生しない.

(c) (防錆油等からの) アウトガスの発生が無い.

• 使用中薬品処理等の悪条件に曝されても変化しない.

(7) 比剛性が高い.

• 固有振動数が高くなる.

(a) 高速回転, 高速運動に対し共振を起こさない.

(b) 高周波に対し共振を起こし難い.

(c) 部品から騒音を発生させない. たとえ発生しても直ちに周囲に吸収され, 耳にまで達しない (居住性が良い). [自動車部品, 室内部品の高速化と騒音問題]

(8) 硬度が高い

• 加工面は耐摩耗性に優れる. セラミックス部品自身に傷が付かない. 同時に相手部品にも傷をつけない.

半導体による知能の進化に, 体 (構造物・メカ) がついて来ない問題が随所に現れつつある. 将来, 更に大きな問題となることは必至である.

本稿に述べたファインセラミックスのメリットは来るべき時代 (高速化, 高密度化, 高精度化, 高剛性化) に対応して行くための基本的な事項をほとんど網羅していることがわかる.

5. おわりに

もう何年前になるだろうか. 高名な科学者の方から次のような質問を受けた. 「ファインセラミックスは素晴らしい材料ですが, 金属材料からすべて置き変わるのは何年後のことでしょうか?」

多くの方々の持つ「美しい誤解」である.

ファインセラミックスは素晴らしい材料であるが, 金属材料も人類が永年にわたり使いこなす術を培ってきた素晴らしい材料の一つである.

設計者は交響楽団のコンダクターであり, また「名伯楽」でなければならぬ. 個々の素材の持味を最大限に引き出し, ブレークスルーにより人々の夢を次々に実現させて行く. 交響楽団にファインセラミックスを加えることによりスケールは格段の広がりを見せてくれる.

欧米においてもファインセラミックスの実用化が急ピッチで進みつつある.

今こそ設計者はファインセラミックスを「自家薬籠中の物」としなければならない.

文 献

- 1) 久曾神 煌: 超精密角度計測技術, 機械の研究, **40**, 5 (1988) 43.
- 2) 塩見忠義: 感性復興を推進するセラミックグッズ, 日本の科学と技術, **26**, 231 (1985) 61.
- 3) 塩見忠義: 包丁, セラミックス, **22**, 3 (1987) 178.