

ファインセラミックス構造材料における  
機能性開発についての実証分析

○大村 昭 (日本ガイシ), 森崎省吾, 渡辺千仞 (東工大社会理工学)

1. 序

機能材料としてのファインセラミックスの応用の発展に対して、構造材料としてのファインセラミックスの応用は、進展の徴候がみられない。それにも拘わらず、半導体製造装置用セラミック部品 (Ceramic parts for use in semiconductor production process、以下 CPSPP という) は、構造材料に分類されるものであるが 1995 年来、急速な成長を示してきた。これは機能材料としてのファインセラミックスを利用するために基本的な要因が CPSPP に伝搬し、かくして本部品が機能材料と同様の発展軌道に乗ったことを示唆している。

CPSPP は構造材料に分類されるので、この見解は自己増殖的性質を有するある材料がある機能材料からスピルオーバーし、CPSPP に同化するという仮説を導き出す。かくなる材料が存在し、そのスピルオーバーがあれば、構造材料としての機能のみを有するファインセラミックスが構造材料として認められる機能を保持する一方、機能材料としての機能をも果たすという潜在的な機能性を有するというのである。

本研究は、異なる機能を有するファインセラミックスの成長軌道の実証分析を基に、種々の分野のファインセラミックス材料と用途の関係のミクロな分析も併せて行い、固有の材料の存在と機能材料、構造材料の両機能に二重に寄与するスピルオーバーに関する仮説の証明を試みるものである。この仮説を示すことにより、今後、系統的な方法で固有の材料を認識することを試み、よって構造材料としてのファインセラミックスの生残戦略の青写真を描くための洞察に資したい。

2. 半導体製造装置用セラミック部品における機能性開発

図 1 は、機能材料と構造材料の応用を区分して、ファインセラミックスの伝播過程を比較したものである。機能材料が新しい機能性開発を説明する動的シーリング (Dynamic carrying capacity; DCC) の伝播軌道を示しているのに対して、構造材料の伝播軌道は固定シーリング (Fixed carrying capacity; FCC) に飽和していること及び 1990 年代に発展の徴候がないことを示している。

しかし、このような相違にも拘らず、構造材料に分類される CPSPP は、1995 年以降、急速に成長している。図 2 は日本における代表的な構造材料の 1981~2000 年の生産額の推移を比較したものである。

切削工具、研削工具、成形工具等の機械工具 (Machine tools for cutting, grinding and forming、以下 MTCGF という) 及び耐熱・断熱部材 (Heat resisting and heat insulating components、以下 HRHIC という) は構造材料においては通常のことであるが、1990 年代初頭ないし中頃から沈滞しているのに対し、CPSPP は例外的に急成長している。この急成長は、機能材料としてのファインセラミックスの基本的な要因が CPSPP に同化して、CPSPP を刺激する要因が機能材料と同様の軌道をとることを喚起させるものである。表 1 は、CPSPP がこの軌道をとることを明らかにすることを目的としたファインセラミックスの機能、用途とファインセラミックス材料との関係を分析するためのマトリックスである。

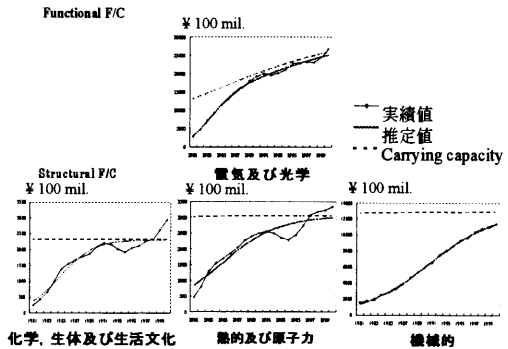


図 1 ファインセラミックスの成長軌道の推移 (1981-2000) : 1995 年価格基準

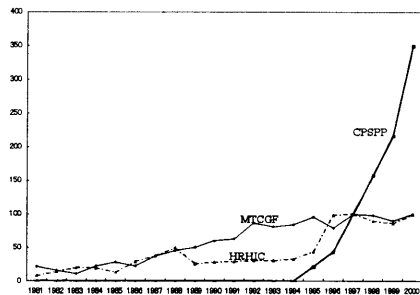


図 2 代表的な構造材料の生産額の比較 (1981-2000) : 1995 年価格基準 - Index: 1997=100

表1 主なファインセラミックス材料の機能と用途

Function	Products	Basic materials of fine ceramics			
		AlN	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Functional F/C Electronic and optical	CPACS	● <sup>a</sup>			○
Structural F/C Chemical, biomedical and living	CEPL				○
	SPKPL				○
	CPSPP	● <sup>b</sup>	○		○
Thermal and nuclear	HRHC			○	○
	MTCGF		○	○	○

注) **CEFIL**; セラミックフィルタ (Ceramic filters)  
**SPKPL**; スパークプラグ (Sparking plugs)  
 a; 特に電気絶縁性を有す  
 b; 特に耐食性および耐熱衝撃性を有す

表1は、優れた電気絶縁性を有するセラミックパッケージ及びセラミック基板 (Ceramic packages and ceramic substrates、以下 **CPACS** という) 及び高耐食性、耐熱衝撃性を有する CPSPP の基本材料が AlN であることを示している。図3は1981~2000年の間の AlN 製品の生産額の推移を示す。

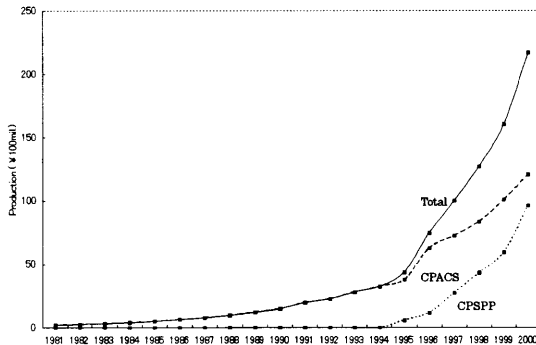


図3 AlN 製品の生産額の推移 (1981-2000)  
 : 1995年価格基準

表1から分るように AlN の大半は、電気絶縁性が要請される CPACS と耐食性、耐熱衝撃性が要請される CPSPP に使われており、図3は1995年から AlN 製品が急激に増加していること、そしてこの急激な増加は、CPSPP の著しい増加に依るところ大であることを示している。

CPSPP は構造材料に分類されるが、機能材料としてのファインセラミックスの基本的な要因が CPSPP に同化するという仮説的見解は、自己増殖性 (Self-propagating nature) を有する材料が、ある機能材料からスピルオーバーして、CPSPP に同化するという仮説を導出する。表1と図3の分析は、AlN が“ある材料”として期待される役割を果たしていることを示し

ている。表2はファインセラミックスの応用に供される主要材料のクロスファンクショナルなスピルオーバーの可能性を吟味するものである。

表2 主要材料のスピルオーバーの可能性

Function	Functionality	Basic materials of fine ceramics				
		AlN	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Functional F/C Electronic and optical	Electrical insulating	●	×	×	○	
	Thermal conductive	○	△	×	×	
Structural F/C Chemical, biomedical and living	Corrosion resistive	○	×	×	○	
	Thermal and nuclear	Corrosion resistive	●	×	×	○
		Thermal shock resistive	△~●	△~○	○	×
Heat resistive	Heat resistive	×	○	○	×	
	Mechanical	Wear resistive	×	○	○	○

表1に示されている如く、表2は機能材料における電気的、光学的機能に電気絶縁性及び熱伝導性といった機能が、又、構造材料における熱的、原子力関連機能に耐食性及び耐熱衝撃性といった機能がそれぞれの固有の機能性としてあることを示している。

表2は、CPACS を含む機能材料として使われる AlN がスピルオーバーして、例えば CPSPP のような構造材料に同化する可能性を示している。スピルオーバーの可能性は、構造材料としての機能にのみ抑制されているあるファインセラミックスが、構造材料として明白な機能を保持する一方、機能材料として類似の機能を演ずる潜在的機能性を包含していることを示している。この仮説は、発展の徴候がない構造材料としてのファインセラミックスの生残戦略についての洞察を与えるものである。

### 3. 成長軌道の分析モデルとデータの構築

#### 3.1 分析モデル<sup>1</sup>

ファインセラミックスのイノベーションの機能性の発展をその伝播過程において分析するために疫学モデルの発展モデルである動的シーリングロジスティック成長モデルを用いた。

$$f(t) = \frac{K_K}{1 + a \exp(-bt) + \frac{b \cdot a_K}{b - b_K} \exp(-b_K t)} \quad (1)$$

式(1)は、この軌道を示す。 $a_K \neq 0$  なら、式(1)は単純ロジスティック成長モデルとなる。 $a_K$  と  $a$  の比 ( $a_K/a$ ) は LFDC 構造の度合 (Degree of functionality) を示す。従って  $a_K/a$  比を比較することにより、ファインセラミックスの個別の応用製品についての機能性の度合いを評価できる。

<sup>1</sup> 分析モデルの詳細については本講演要旨集 2D06 「ファインセラミックス産業の成長軌道についての実証分析」(森崎、大村、渡辺) 参照。

### 3.2 データの構築<sup>2</sup>

CPACS 及び CPSPP の生産額データから、累積生産額を算出した。尚、CPSPP の累積生産額は、1995 年の第 1 四半期から 2000 年の第 4 半期まで 4 半期データとして見積もった。

## 4. 分析

### 4.1 成長軌道の比較

CPACS 及び CPSPP の累積生産額の推移データを使い、式(1)にデータを入れて CPACS 及び CPSPP の伝播軌道を評価した。表 3 に評価結果をまとめた。全ての定数は高い信頼性をもって統計的に有意である。図 4 に累積生産額の実測値及び推定値と Carrying capacity を示す。

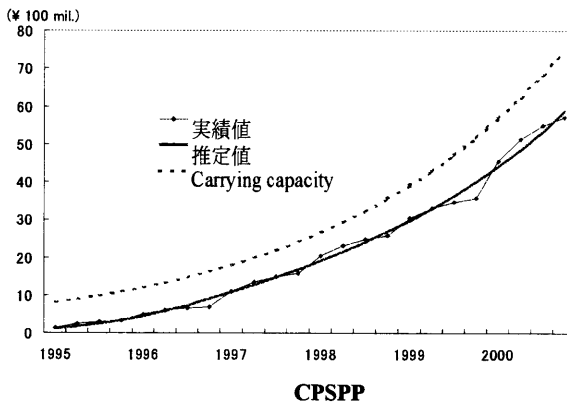
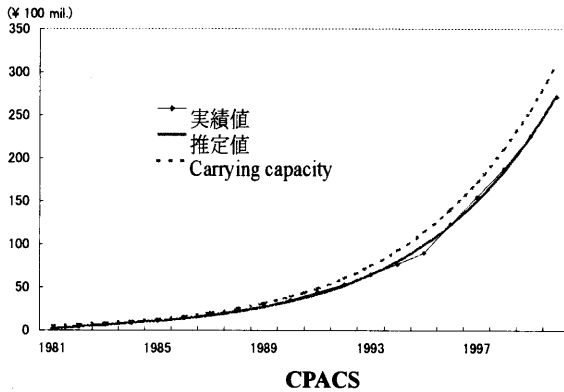


図 4 成長軌道の推移 (1981-2000)  
: 1995 年価格基準

<sup>2</sup> データの構築の詳細については本講演要旨集 2D06「ファインセラミックス産業の成長軌道についての実証分析」(森崎、大村、渡辺)参照。

表 3 伝播過程のパラメータ推定結果 (1981-2000)

CPACS						
$K_K$	$a$	$b$	$a_K$	$b_K$	adj. $R^2$	DW
2059.20	2452.00	1.59	467.20	0.22	0.999	1.20
(2.08)	(76.11)	(1.63)	(2.69)	(26.94)		
CPSPP						
$K_K$	$a$	$b$	$a_K$	$b_K$	adj. $R^2$	DW
724.26	713.95	0.43	96.79	0.10	0.992	1.61
(1.83)	(2.10)	(5.48)	(1.98)	(15.42)		

CPACS 及び CPSPP の伝播過程と Carrying capacity の傾向は次の通りである。CPACS の累積生産額は、検討した期間でロジスティックな成長を示し、その Carrying capacity は、機能性の増加を証明する高い成長軌道を維持している。また、CPSPP の累積生産額は、1995 年以降同様のロジスティックな成長を示し、その Carrying capacity の増加は、ロジスティックな成長と並行している。

### 4.2 成長の機能性要因

機能と用途によって種々応用されるファインセラミックスについての表 1 の解析は、高い電気絶縁性を有する CPACS と高耐食性、高耐熱衝撃性を有する CPSPP が、大半 AlN に依っていることを示した。さらに、表 2 の解析は CPACS に使われる AlN は、代表的な機能材料の 1 つであり、CPSPP にスピルオーバーし、同化した可能性を示している。スピルオーバーした AlN の機能的な性質を同化することにより、CPSPP はその機能性を構造材料として認められている機能を保持する一方、機能材料として類似の機能を演ずる機能性を開発すると推定できる。

表 4 は前章での分析を基に、ファインセラミックスの機能性の度合を式(1)の  $a_K/a$  比で比較したものである。

表 4 ファインセラミックスの機能性の度合の比較

Function / Major products	Degree of functionality (aa/a)
Functional F/C Electronic and optical	0.10
CPACS	0.19
Structural F/C Chemical, biomedical and living	0.00
Thermal and nuclear	0.01
CPSPP	0.14
Mechanical	0.01

表4をみれば、機能材料は、 $a_r/a=0.10$ と高い機能性を示す一方、構造材料のそれは0.00~0.01と極めて低いレベルに止まっている。機能材料の機能性の高いレベルの中で、CPACSは0.19と極めて高い。さらに、CPSPPは0.14と機能性は高いレベルにあり、他の構造材料と対照的である。CPSPPの機能性の高いレベルは、構造材料に分類されるが、機能性の性質を有するAlNがCPSPPに取り入れられ、そしてスピルオーバーし、又、結果として構造材料に分類され、構造材料としての機能を有する一方、高いレベルの機能性を有するCPSPPに同化したという先の仮説を証明するものである。

## 5. 結論

機能材料としてのファインセラミックスの応用の発展に対して、構造材料の応用は発展の徴候がないという現実に注目し、本発表は構造材料の生残戦略を探ることからはじめた。観察の結果、構造材料に分類されるCPSPPが1995年来急速な増加を示していることが分かった。この急速な増加は、機能材料としてのファインセラミックスに基本的なある要因がCPSPPに取り入れられ、それら要因が機能材料と同様の発展軌道をとると認識した。

この見解は、CPSPPは構造材料に分類されるが、自己増殖性を有するある材料がある機能材料からスピルオーバーし、CPSPPに同化するという、発展の徴候がないことに苦しむ構造材料としてのファインセラミックスの生残戦略についての洞察を与える。かくなる材料の存在とそのスピルオーバーがあると、構造材料の機能のみに縛られていたあるファインセラミックスが、構造材料としての機能を保持する一方、機能材料としての類似の機能を有する潜在的な機能性を含んでいるということである。

このような仮説に促され、本研究は異なる機能を有するファインセラミックスの成長軌道の実証分析を基に、種々の分野のファインセラミックス材料と用途の間の相互関係についてのミクロな分析を含めて、上記仮説的見解を証明することを試みたものであり、得られた知見は、次の如くである。

- (1) ファインセラミックスの広範な応用に供される基本材料の中で、AlNは機能性の成長軌道を描く意味ある自己増殖性を有している。
- (2) AlNは、強いクロスファンクショナルなスピルオーバーを有し、電気絶縁性及び熱伝導性という機能だけでなく、耐食性や耐熱衝撃性という潜在的な機能を包含している。
- (3) AlNの電気絶縁性及び熱伝導性の機能は、特に機能材料としてCPACSに利用されてきた。
- (4) AlNのクロスファンクショナルなスピルオーバーの特性は、耐食性及び耐熱衝撃性という潜在的な

機能を刺激、激励することによりCPSPPへの広範な応用を導き出し、構造材料用途へスピルオーバーする刺激となっている。

(5) CPSPPへの応用の過程において、AlNが意味ある自己増殖的性質を強いられたCPSPPは機能材料と同様の急速な成長軌道をとることを示している。

全ては、先の仮説的見解を支持し、構造材料の生残戦略に関する有用な洞察を用意するものである。

今後、広い分野の構造材料の生残戦略を吟味するために、本アプローチの応用を試みたい。

## 参考文献

- [1] Horiguchi, A., Ueno, F., Tsuge, A., 1989. Development of High-thermal Conductivity Aluminum Nitride Ceramics, *Toshiba Review* 44 (8), 616-618.
- [2] Komeya, K., 2000. Non-Oxide Ceramics, *Bulletin of the Ceramic Society of Japan* 35 (1), 30-31.
- [3] Mizutani, T., Mizuno, T., Ushikoshi, R., Kobayashi, H., Watanabe, K., 2000. Development and Commercialization of Ceramic Parts for Use in Semiconductor Production Processes, *Fine Ceramics Annual Report*, 9-13.
- [4] New Industry Research Institute Co., Ltd., 1997. Report on Market Survey of AlN Ceramics, *New Industrial Research Institute Co., Ltd., Tokyo*.
- [5] Ohmura, A., Ouchi, N., Morisaki, S., Watanabe, C., 2002. Functionality Development as a Survival Strategy for Fine Ceramics, *Technovation*, in print.
- [6] Wada, S., 2001. Guidebook of Structural Ceramics. TIC, Ltd., Kyoto.
- [7] Watanabe, C., Kondo, R., Ouchi, N., Wei, H., 2002., Formation of IT Features through Interaction with Institutional Systems - Empirical Evidence of Unique Epidemic Behavior, *Technovation*, in print.
- [8] Watanabe, C., Nagamatsu, A., Griffy-Brown, C., 2002. Behavior of Technology in Reducing Prices of Innovative Goods: An Analysis of the Governing Factors of Variance of PV Module Prices, *Technovation*, in print.
- [9] Yano Research, Ltd., 1992. Fine Ceramics Industry Year-Book, Yano Research, Ltd., Tokyo.