JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	ハニカム構造セラミックスにおける新機能創出と技術の伝播についての実証分析(企業の研究開発戦略)
Author(s)	大村，昭；渡辺，千仭
Citation	年次学術大会講演要旨集，18：115-118
Issue Date	2003-11-07
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/6849
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般論文

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

1D07　ハニカム構造セラミックスにおける新機能創出と技術の伝播についての実証分析

○大村　昭，渡辺千仭（東工大社会理工学）

1．序

ファインセラミックス産業はその台頭後、20年を越えた。1980年代以降、諸種のファインセラミックス製品は広い分野で発展と伝播を示してきた。その総生産額は、1988年の1兆円から、1995年に1.5兆円、2000年に1.9兆円と増加したが、ファインセラミックスを構成する機能材料と構造材料の発展の軌跡は対照的である。[1]

昨年の年次学術大会で、機能材料としてのファインセラミックスの応用は注目すべき発展を示しているのに対して、構造材料としてのファインセラミックスの応用の発展の兆候は大きくないことが、両材料の機能性の相違に起因していることを実証した。

成長の停滞する構造材料の中で、継続的に新製品が開発されているユニークな構造を有するハニカム構造セラミックスの研究開発とその事業化の経緯を調査し、ハニカム構造セラミックスにおける新機能創出と技術の伝播について分析した。

本発表は、ハニカム構造セラミックスにおいて技術の伝搬により、ハニカム構造セラミックスに潜在している機能性が浮上し、新たな応用分野の製品に新機能が付与されて、固有の特徴を発揮する新製品が開発されたとの仮説の実証を試みるものである。

2．自動車排ガス浄化用触媒担体用ハニカム構造セラミックスにおける新機能開発

1960年代、自動車の急速な普及等により様々な社会的問題が発生、大気汚染、水質汚染等の公害問題が深刻化した。大気汚染については、特に都市部におけるCO公害が、1970年頃からは光化学スモッグによる健康被害が発生し、1973年にCO、HC、NO_xの3成分を低減させる規制が実施された。この後、1975(S50)年規制、1976(S51)年規制を経て、NO_xの大幅な低減を図った 1978(S53)年規制が適用され、今日の規制のベースとなった。

日本の自動車メーカーは、1960年代後半から1970年代にかけて、排ガス対策に乗り出した。当時、排ガス対策にはエンジンそのものを改良する方法と触媒装置を取り付けて燃焼排ガスを浄化する2法が考えられた。前者の方法は燃費を格段に悪くし、オイルショックの影響もあり、自動車メーカーは触媒装置の開発に力を置くようになった。

ハニカム形状の触媒はハニカム構造をしたセラミックスの隔壁の表面に触媒を保持して、排ガスの通路に設置し排ガス中の有害成分を浄化するものであり、排ガスと触媒の接触面積が大、軽量、排ガスが通過しやすい等の特徴を有し、注目された。しかし当初、耐久性、コストが排ガス浄化用触媒の担体として満足されるものであるかどうか、不明であった。

ハニカム構造は互いに平行な多数の貫通孔（セル）を有する構造体である。セラミック材料で作られたハニカム構造セラミックスが内包する機能性は表1のように整理できる。この機能性はハニカム構造が有する機能とセラミック材料が有する機能とを併せ持つものであり、ハニカム構造を応用したセラミックス製品はこれらの機能を共通的に保有している。

表1　ハニカム構造セラミックスが有する機能性

分類	機能性
物理的機能	大表面積、軽量
機械的機能	高強度、低圧力損失
熱的機能	低熱容量、高耐熱性
化学的機能	高耐食性、高耐久性

自動車排ガス浄化用触媒担体用ハニカム構造セラミックス（以下、自排触媒担体という）に要求される機能の中で、研究開発の初期の段階では特に耐熱衝撃性が不十分であった。

自動車の運転条件は大きく変化するため、排ガス温度は急激に変化する。このため、ハニカム材料は高融点であると共に高耐熱衝撃性を有することが必要である。高耐熱衝撃性を有するためには、セラミック材料は低熱膨張であることが必須であり、開発の当初、低熱膨張性材料として、いくつかのセラミック材料が試みられた。その中で耐久性が優れ、結晶が安定で耐熱性に優れるコーディエライトが候補に上がったが、その耐熱衝撃性は実用に耐えるまでには至らなかった。

[1] 研究・技術計画学会第17回年次学術大会講演要旨 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）(2003)　P590-593

コーディエライト質ハニカム構造セラミックスに要求された耐熱衝撃性は、素地の低熱膨張化により得られた。その結晶は熱膨張係数に異方性（結晶の方位によって、熱膨張係数が異なる）があり、成形法に押出し法を利用して、結晶に異方性を付与し、ハニカム構造セラミックスの耐熱衝撃性を達成して、実用化に結びついた。実用化のポイントは押出し法をハニカム構造体の成形法に採用し、結果、耐熱衝撃性を獲得したことであった。

表２は自排触媒担体が有する機能性を材料に関連する機能と構造に関連する機能に分類、整理したものである。自排触媒担体に要求された機能性は優れた材料と優れた構造との組合せにより得られた。高耐熱衝撃性はハニカム構造体の成形法に押出し法を利用した製造法を仲立ちとした材料と構造との強い相互作用の結果、達成された。

表２　自排触媒担体が有する機能性

機　能	材料関連	構造関連	備　考
多孔質	○		
軽量	○		
高耐食性	○	○	
高強度	○	○	
高耐熱性	○	○	
高耐熱衝撃性	○	○	材料と構造に強い相互作用（製造法が仲立ち）
低熱容量	△	○	
低圧力損失		○	
大表面積		○	

以上の如く、自排触媒担体の実用化には耐熱衝撃性の向上が重要な役割を果たした。材料と構造及びハニカム構造セラミックスの製造方法の強い相互作用によって、高耐熱衝撃性という新機能が創出したといえる。

３．ハニカム構造セラミックスにおける機能性創出と技術の伝播メカニズム

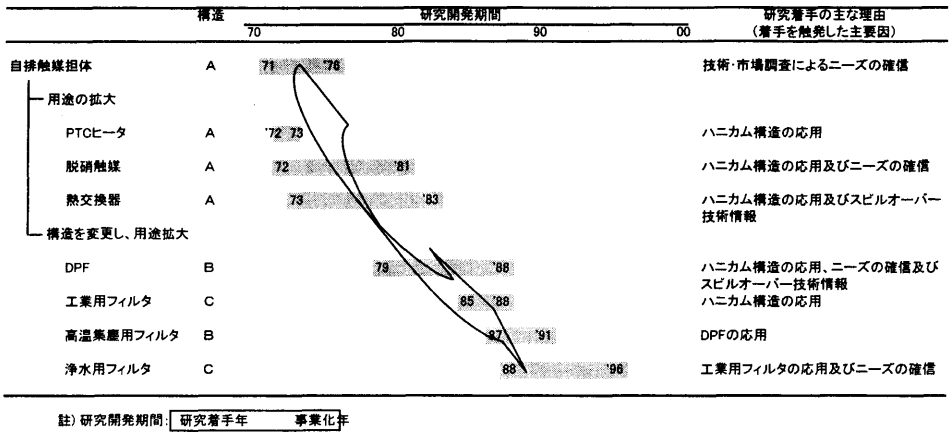
自排触媒担体の研究開発以降、種々のハニカム構造セラミックス製品が研究開発された。自排触媒担体を含めて、８種のセラミックス製品の構造と材料を表３に、研究開発期間と研究に着手した主な理由について表４に纏めた。

表３　ﾊﾆｶﾑ構造ｾﾗﾐｯｸｽ製品の構造[1)]と材料

製　品	構造	材　料
自排触媒担体	A	ｺｰﾃﾞｨｴﾗｲﾄ質ｾﾗﾐｯｸｽ
PTC ヒータ	A	ﾁﾀﾝ酸ﾊﾞﾘｳﾑ系半導体ｾﾗﾐｯｸｽ
脱硝触媒	A	酸化ﾊﾞﾅｼﾞｳﾑｰﾁﾀﾆｱ系触媒
熱交換器	A	ｺｰﾃﾞｨｴﾗｲﾄ質ｾﾗﾐｯｸｽ
DPF	B	ｺｰﾃﾞｨｴﾗｲﾄ質ｾﾗﾐｯｸｽ,炭化ｹｲ素質ｾﾗﾐｯｸｽ
工業用ﾌｨﾙﾀ	C	支持材料/ｱﾙﾐﾅ,ﾌｨﾙﾀ材料/ﾁﾀﾆｱ、ｱﾙﾐﾅ
高温集塵用ﾌｨﾙﾀ	B	ｺｰﾃﾞｨｴﾗｲﾄ質ｾﾗﾐｯｸｽ
浄水用ﾌｨﾙﾀ	C	支持材料/ｱﾙﾐﾅ,ﾌｨﾙﾀ材料/ﾁﾀﾆｱ

註１）構造　A：多数の貫通孔が均一に分布した構造
B：貫通孔の端面を交互に封止した構造
C：蓮根型構造

表４　ハニカム構造セラミックス製品の研究開発期間と研究着手の主な理由



自排触媒担体の研究着手に続いて、先ずハニカム構造を応用した用途の拡大が検討され、続いてハニカム構造の一部を変更し、用途の拡大が図られたことが分かった。研究に着手した主な理由は、ハニカム構造の他用途への応用についての思案（発案）、調査結果に基づくニーズの確信、スピルオーバーした技術情報による触発であり、自排触媒担体から PTC ヒータ、脱硝触媒、熱交換器、DPF、工業用フィルタへ、さらに DPF から高温集塵用フィルタへ（構造 B）、工業用フィルタから浄水用フィルタへ（構造 C）と技術の伝播があったことが分かった。

表５はハニカム構造セラミックス製品に新たに付与された固有の機能と各製品が発揮する固有の特徴を纏めたものである。

表５　ﾊﾆｶﾑ構造ｾﾗﾐｯｸｽ製品の固有の機能と特徴

製　品	付与された製品固有の機能	発揮される製品固有の特徴
自排触媒担体	触媒担持機能	触媒担持性 高耐熱衝撃性
PTC ﾋｰﾀ	発熱機能	過熱安全性
脱硝触媒	触媒機能	高脱硝率
熱交換器	熱交換機能	高熱回収効率
DPF	ﾌｨﾙﾀ機能	高粒子状物質(PM)捕集効率
工業用ﾌｨﾙﾀ	ﾌｨﾙﾀ機能	高膜ろ過性
高温集塵用ﾌｨﾙﾀ	ﾌｨﾙﾀ機能 高温作動機能	高温集塵効率
浄水用ﾌｨﾙﾀ	ﾌｨﾙﾀ機能	高膜ろ過性 高耐久性 高処理能力

ハニカム構造セラミックスにおける機能性創出と技術の伝播メカニズムは、研究開発の経緯を踏まえて、次のように整理できる。

1）ハニカム構造セラミックスの用途の拡大が検討され、新たな研究開発が着手される（技術の伝播）
2）構造と材料との相互の検討によって機能と特性を吟味し、最適な構造と最適な材料を選定する（機能性の浮上）
3）製品に固有の機能を付与する（機能性開発）
4）各製品は、固有の特徴を発揮する（新製品開発）

種々のハニカム構造セラミックス製品は、夫々固有の特徴を発揮し、事業化された。自排触媒担体の研究開発開始以降のハニカム構造セラミックス製品の研究開発（技術の伝播）は、自排触媒担体の研究開発及び事業化とその成長がきっかけとなり、ハニカム構造セラミックスが注目されて、種々の新しい応用分野への展開が進展していった。研究者、市場の関係者は、「ハニカム構造セラミックスは、種々の分野の新製品に応用可能だ」との思いを擁き、学会、産業界にスピルオーバーした技術、市場情報が、ハニカム構造セラミックスの応用展開を目指した研究開発着手のドライビングフォースとなったといえる。

ハニカム構造セラミックスの可能性、換言すれば、ハニカム構造セラミックスに潜在していた構造関連及び材料関連機能が市場からの刺激を受けて活性化し、新製品が研究開発され、それらの事業化と市場の成長が次の新商品開発意欲、即ち潜在している機能性の浮上と機能の付与の原動力となったのである。

４．ハニカム構造セラミックス製品の成長の分析

ハニカム構造セラミックス製品の成長軌道及び技術の伝播（多角化）について分析した。

成長軌道の分析には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(以下、LFDCC という)を用いた。[2] 式（１）はこの軌道を示す。

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

a_K=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、LFDCC 構造の度合 (Degree of functionality) を示す。ハニカム構造セラミックス製品４種（自排触媒担体、脱硝触媒、DPF 及び工業用フィルタ）の販売額データから、累積販売額を算出し、式（１）により、伝播軌道を評価した。図１は自排触媒担体及び４製品合計の累積販売額の実測値及び推定値と Carrying capacity を示す。表６に評価結果をまとめた。

自排触媒担体の販売額は、1987 年まで急成長していたが、海外生産が３カ国で 1987 年、1989 年及び 1997 年に始まったため、1988～1997 年の間、成長は停滞した。1998 年以降需要の高まりとともに販売額は増加したため、検討した期間を通して、Carrying capacity は持続的な成長軌道を示している。ハニカム構造セラミックス製品４種計の累積販売額は、検討した期間でロジスティックな成長を示し、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。即ち、ハニカム構造セラミックス技術は、自排触媒担体から次なる製品へと伝播し、需要は増加していったことが分かった。

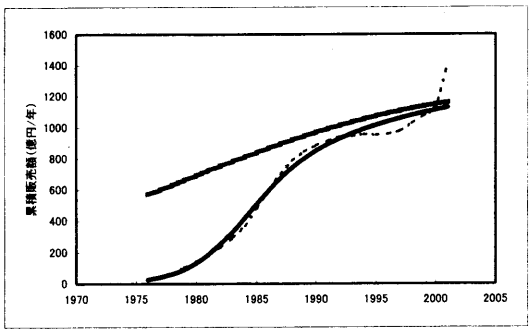
次にハニカム構造セラミックス技術の伝播の推移について、ハーフィンダール指数（以下、HHI という）を用いて計測した。図２は上記４製品の HHI を示す。脱硝触媒については、1981～1984 年の販売額データが不明で、その期間の販売額を０としたため、HHI は、０となって

[2] 分析モデルの詳細は、序の脚註に示す講演要旨参照

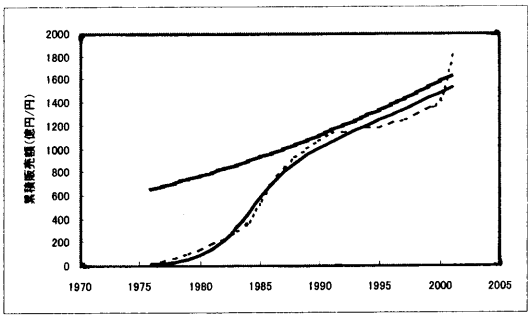
いる。

HHI の推移は、表４に示すハニカム構造セラミックス技術の伝播の軌跡を反映するものである。

尚、以上の分析には上記４製品以外の４製品は、市場の未成長、未形成、成長萌芽期である等の理由から、販売額データが不明であり、加えなかった。



自排触媒担体



自排触媒担体,脱硝触媒,DPF 及び工業用フィルタ計

実績値
推定値
Carrying capacity

図１　ハニカム構造セラミックス製品の成長軌道の推移(1976-2001)：1995 年価格水準

表６　伝播過程のパラメータ推定結果(1976-2001)

自排触媒担体

K_K	a	b	a_K	b_K	$adj.R^2$
1306.8	71.3	0.44	1.42	0.09	0.993
(36.4)	(5.60)	(25.1)	(3.24)	(3.80)	

自排触媒担体、脱硝触媒、DPF及び工業用フィルタ計

K_K	a	b	a_K	b_K	$adj.R^2$
5808.3	1094.1	0.58	8.28	0.045	0.992
(2.03)	(1.86)	(16.4)	(1.84)	(7.23)	

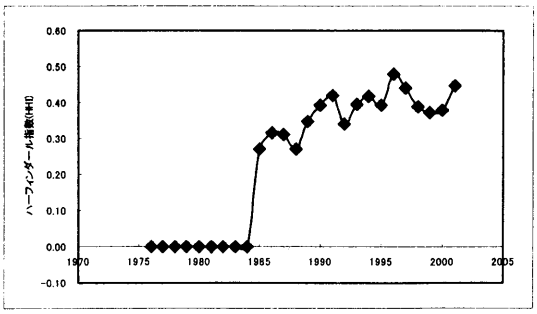


図２　ハニカム構造セラミックス技術の伝播の推移(1976-2001)

５．結論

ハニカム構造セラミックスにおける新機能創出と技術の伝播について分析し、次の結論を得た。

１）自排触媒担体における新機能開発について

(1) 自排触媒担体に要求された機能は、材料と構造の相互の検討により得られた。

(2) 自排触媒担体の実用化には、耐熱衝撃性の向上が重要な役割を果たした。高耐熱衝撃性は、ハニカム構造セラミックスの製造法が仲立ちした材料と構造の強い相互作用の結果得られた。

２）ハニカム構造セラミックスにおける機能性創出と技術の伝播メカニズムについて

(1) 機能性創出は、①技術の伝播、②機能性の浮上、③機能性開発、④新製品開発 の継続と総括できる。

(2) ハニカム構造セラミックスの製品群は、高い成長軌道を維持し、技術の伝播が行われている。

今後、ハニカム構造セラミックス技術のスピルオーバー、同化能力についての吟味を試みたい。

参考文献

[1] Meyer, P. S., Ausubel, J. H., 1999. Carrying capacity: a model with logistically varying limits. Technological Forecasting and Social Change 61 (3), 209-214.

[2] Ohmura, A., Morisaki, S., Watanabe, C., 2002. Functionality Development as a Survival Strategy for Fine Ceramics, Technovation (in print).

[3] Watanabe, C., 1999. Systems option for sustainable development. Research Policy 28 (7), 719-749.

[4] Watanabe, C., (ed), 2001. Numerical Analysis of Technological Innovation. JUSE Press, Tokyo.

[5] Watts, R. J. and Porter A. L., 1997. Innovation forecasting. Technological Forecasting and Social Change 56 (1), 25-47.