

機械システム調査開発

1－D－3

高信頼性のためのセラミックス産業の コネクティッド化に関する戦略策定報告書

令和2年3月

一般財団法人 機械システム振興協会

委託先 一般社団法人日本ファインセラミックス協会

序

現在、ソサエティ 5.0 やコネクティッド・インダストリーなどが議論されており、我が国の技術・経済社会は大きな変革期を迎えております。こうした中で、新技術や新システムを社会に導入するためには、技術を検討するだけではなく、経済社会の変革のあり方を検討し、イノベーションのための戦略を策定することが重要です。こうした戦略を策定するため、一般財団法人機械システム振興協会では、平成 26 年度から、外部の関係組織の皆様とともに「イノベーション戦略策定事業」を進めてきました。

この事業の一環として、一般社団法人日本ファインセラミックス協会に委託して、「高信頼性のためのセラミックス産業のコネクティッド化に関する戦略策定」のプロジェクトを実施しました。これは、セラミックス部品の用途が自動車市場に拡大するに伴い、要求される寿命が大きく延びることを背景として、セラミックスに関連する川上・川中・川下の企業の間で信頼性に係る情報を共有すること、すなわちコネクティッド化することで、セラミックス部品の高い信頼性を実現する戦略を策定するものです。これにより、企業の枠を超えた今後の研究開発の方向性が示されました。

この中で、多様な分野の関係者とともに弊協会も参加して議論・検討を行いました。また、弊協会に設置しております「機械システム開発委員会」（委員長：東大名誉教授 大場 善次郎 氏）の指導・助言を受けました。

この成果が、機械システムによる経済・社会の変革に寄与することとなれば幸いです。

令和 2 年 3 月

一般財団法人 機械システム振興協会

はじめに

ファインセラミックス産業がスマートフォン市場から、5Gと自動車市場への転換がまさに始まった中で、セラミックス部品に要求される耐用年数は3年から10年へと延び、信頼性向上が大きな課題になっている。今後のグローバル市場を勝ち抜く上で、信頼性を含めた全体最適を図るためには、原材料の信頼性、セラミックス部品の信頼性、完成品の信頼性に関する情報流通を円滑化し、サプライチェーン全体として信頼性向上に取り組むこと、それにより自動車などの最終的な製品の信頼性を上げることが必要となってきた。また同時に、大学・研究機関との協力関係を確立し、プロセスのサイエンス化を進めて、「スーパーセラミックス」へ向けた取り組みが必要となっている。まさに今このタイミングで、ファインセラミックスの高信頼性への戦略策定を行えたことに感謝している。

このような背景からくる要請のもと、私共では、前方・後方企業間情報共有を「コネクティッド化」と銘打ち、「高信頼性のためのセラミックス産業のコネクティッド化に関する戦略策定」委員会を設立して、どのような戦略が考えられるかについて調査検討を行った結果を報告する。

令和2年3月

一般社団法人日本ファインセラミックス協会

目 次

序

はじめに

1.事業の目的	1
2.事業の実施体制	3
3.事業の内容	6

第1章 戦略策定の背景とコネクティッド化の必要性

1.1 セラミックス産業の概要

1.1.1 ファインセラミックスの産業規模と市場の概要	8
1.1.2 5G 市場	9
1.1.3 自動車市場	10
1.1.4 日本のファインセラミックス産業の強み	12

1.2 セラミックス部品の自動車用市場

1.2.1 自動車に多用されるセラミックス部品	13
1.2.2 今後の自動車用セラミックス部品の市場規模予測	14
1.2.3 自動車用セラミックス市場における日本企業シェア	18

1.3 我が国セラミックス産業の国際競争

1.3.1 セラミックス産業の技術と国際競争の概況	20
1.3.2 構造用セラミックスの国際競争	20
1.3.3 絶縁/放熱部品の国際競争	21
1.3.3.1 セラミックパッケージの国際競争	21
1.3.3.2 高放熱絶縁基板（銅張セラミックス基板）の国際競争	21
1.3.4 中国セラミックスメーカーの台頭	24
1.3.5 海外メーカーと日系メーカーの成長性比較	26
1.3.6 日系メーカーの競争力維持強化のための方策	28

1.4 自動車用セラミックス部品に係る技術課題

1.4.1 自動車用セラミックス部品に求められる信頼性の向上	30
1.4.2 セラミックス部品の故障例	32
1.4.2.1 構造体におけるクラックの発生	32
1.4.2.2 機能性セラミックスの故障	33
1.4.2.3 マルチマテリアルの故障	33

1.4.3	性能のトレードオフへの対応	34
1.4.4	高信頼性の体系化	36
1.4.5	グローバルな協力関係の構築	37
1.5	サプライチェーンの川上・川下企業との情報共有の現状	40
1.5.1	自動車用セラミックス部品のサプライチェーン	40
1.5.2	粉体メーカーとセラミックス部品メーカーのコンネクティッド化	41
1.5.3	セラミックス企業とユーザー企業との取引と情報共有の事例	44
1.5.3.1	セラミックスメーカーとユーザーとの強固な関係の事例	45
1.5.3.2	高性能セラミックスパッケージの開発から量産に至るまでの事例	46
1.5.3.3	Tier1&自動車メーカーとの契約の事例	47
1.6	コンネクティッド化による信頼性向上の課題	50
1.6.1	高信頼性コンネクティッド化の課題	50
1.6.2	技術的可能性	52
1.6.3	まとめ	55
第2章	セラミックス産業の問題意識	57
2.1	ヒアリングの実施方法	57
2.2	ヒアリング結果	58
2.3	ヒアリング結果のまとめ	79
第3章	セラミックス産業の課題解決に向けた高信頼性技術やコンネクティッド化の 仕組み	82
3.1	セラミックスの解決すべき信頼性の整理と技術課題	82
3.1.1	メタライズセラミック基板	82
3.1.1.1	はじめに	82
3.1.1.2	メタライズセラミック基板の種類	83
3.1.1.3	メタライズセラミック基板の残留応力	84
3.1.1.4	温度サイクルによるメタライズ基板の劣化・損傷	85
3.1.1.5	導体層の劣化・損傷	87
3.1.1.6	まとめと今後の課題	87
3.1.2	構造部材の事例：低比重・低熱膨張材料	89
3.2	セラミックスの先進解析評価技術と信頼性	91
3.2.1	放射光マルチスケールCTで見るセラミックスの3次元内部欠陥構造	91

3.2.1.1	セラミックス製造プロセスと信頼性	91
3.2.1.2	アルミナの内部欠陥の 3 次元構造観察	92
3.2.1.3	内部欠陥の起源	93
3.2.1.4	破壊強度の推定	94
3.2.1.5	今後の展望	95
3.2.2	界面構造の TEM 観察	97
3.2.2.1	走査透過電子顕微鏡(STEM)	97
3.2.2.2	高角度環状暗視野法(HAADF)と環状明視野法(ABF)	97
3.2.2.3	原子分解能 STEM によるセラミックスの解析例	101
3.2.2.4	まとめ	104
3.2.3	セラミックス製造プロセスの計算機シミュレーション	106
3.2.3.1	シミュレーションの適用の動機	106
3.2.3.2	シミュレーションの方法論	106
3.2.3.3	シミュレーションの成果例	108
3.2.3.4	セラミックス製造プロセスへのシミュレーションの適用 (構想)	110
3.3	セラミックスのプロセスチェーンにおけるコネクティッド化技術	112
3.3.1	メタデータアナリシスと信頼性工学	112
3.3.1.1	データ取得	115
3.3.1.2	データ解析：得られたデータから何を明らかにするか， 特に因果への言及	117
3.3.1.2.1	構造方程式モデリング	117
3.3.1.3	省エネ化のためのプロセスシステム設計	118
3.3.1.3.1	人工物製造システムとエントロピー，エクセルギー	118
3.3.1.3.2	Excel de Exergy の概要	120
3.3.1.4	まとめ	122
3.4	異種材料の組み合わせによるコネクティッド化技術	124
3.4.1	マクロレベルの異種材料コネクティッド化：マルチマテリアル	124
3.4.1.1	異種材料コネクティッド化の重要性	124
3.4.1.2	異種材料コネクティッド化における材料の 4 要素関係	125
3.4.1.3	異種材料コネクティッド化に向けたマテリアルズ・インフォマティクス	128
3.4.2	ミクロレベルの異種材料コネクティッド化：トレードオフ関係を越えた マテリアル	132
第 4 章	報告会	135

第5章 戦略策定	137
----------------	-----

参考資料	146
------------	-----

A-1 小型・大容量温度補償用積層セラミックコンデンサ向け誘電体材料の開発 および量産化	148
A-2 光のない環境で結晶が壊れにくくなる現象を発見 ～可塑性を示す半導体結晶セ ラミックス～	154
A-3 低比重・低熱膨張材料（CO720/CO730）の開発	158