

機械システム調査開発

2-D-2

環境調和型 MEMS 技術の研究開発
に関する戦略策定
報告書

令和3年3月

一般財団法人機械システム振興協会

委託先 一般財団法人マイクロマシンセンター

序

現在、AI、5Gなどの導入や設計・生産手法のデジタル化などの技術革新をはじめ、ソサエティ 5.0 やサプライチェーンのコネクティッド化などが進められており、我が国の技術及び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、一般財団法人マイクロマシンセンターに委託して、「環境調和型 MEMS の研究開発に関する戦略策定」のプロジェクトを実施しました。これは、MEMS センサが、将来、野外や自然環境の中で使うために回収不要にする必要性が生じることや省エネルギーで製造されることが期待されていることを踏まえ、環境調和型の MEMS について、その用途、材料、製造方法などを検討し、その研究開発の戦略を策定するものです。

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3年3月

一般財団法人機械システム振興協会

はじめに

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術は小型・高性能のセンサ製造のキー技術として発展してきました。これまでは自動車やモバイル機器などに組み込まれて使われるのが主流でしたが、これからのサイバーフィジカルシステムやトリリオンセンサの時代には、MEMS デバイスも外に飛び出し、自然環境やスマートシティなどで広く使われるようになっていきます。

そのような MEMS デバイスが広大な自然環境に大量に設置されるようになると、バッテリーの枯渇や使用目的の終了等により使用しなくなった大量の MEMS デバイスを回収することが困難になってきます。そこで必要になるのが、自然に放置しても環境汚染につながらないような、自然に還る、あるいは自然に溶け込む MEMS デバイスシステムです。

本調査研究事業は、一般財団法人機械システム振興協会より委託を受けて、一般財団法人マイクロマシンセンターが実施したもので、上記のような環境調和型 MEMS (EfriM : Environment friendly MEMS) 技術の研究開発に関する戦略を策定したものです。EfriM に有望なユースケース、材料・デバイス及び製造技術に関して調査し、インフラ、災害、農業分野でインパクトの大きい6つの EfriM ユースケースの開発に必要な横断的技術項目を、環境固定化技術、環境に還る技術、共通基盤技術の3技術として整理して、時間遷移を考慮した縦横マトリクスの技術開発戦略としてまとめました。

この調査研究の成果が研究開発プロジェクトに結実し、屋外利用の IoT センサシステムの普及並びに Society5.0 社会の実現にいくらかでも貢献できれば幸いです。

令和3年3月

一般財団法人マイクロマシンセンター

目次

序

はじめに

[事業概要].....	1
1 事業の目的.....	1
1.1 背景、必要性、目指すイノベーション等の概要.....	1
1.2 委託事業の目標.....	2
1.3 成果の展開、活用方法（委託事業終了後の実用化に向けての取り組み）.....	2
2 事業の実施体制.....	3
3 事業の実施日程.....	7
4 事業の内容.....	8
5 今後の展開.....	10
[本編].....	11
第 1 章 環境調和型 MEMS を実現するためのインフラ、災害、農業分野での技術及び応用の検討.....	11
1.1 有識者への調査.....	11
1.1.1 インフラ分野の調査.....	11
1.1.2 災害分野の調査.....	14
1.1.3 農業分野の調査.....	16
1.2 インフラ分野における環境調和型 MEMS に有望なユースケース.....	19
1.3 災害分野における環境調和型 MEMS に有望なユースケース.....	23
1.4 農業分野における環境調和型 MEMS に有望なユースケース.....	29
1.4.1 耕種農業のユースケース.....	29
1.4.2 畜産農業のユースケース.....	31
1.4.3 水産業（漁業）のユースケース.....	32
第 2 章 自然に還る材料と自然の中に固定化する材料の探索及びそれらを用いた環境調和型 MEMS デバイスの調査・検討.....	34
2.1 有識者への調査.....	34
2.1.1 生分解性材料.....	34
2.1.2 環境固定化材料.....	37
2.2 環境調和型 MEMS に有望な生分解性材料.....	41
2.3 環境調和型 MEMS に有望な環境固定化材料.....	47
2.4 環境調和型 MEMS に有望な環境放置可能（無害）材料.....	50

2.4.1 半導体材料：GaN.....	51
2.4.2 導電材料：銀ナノ粒子、銀ナノワイヤ.....	52
2.4.3 アクチュエータ材料：ZnO.....	53
2.4.4 弾性/柔軟材料：ゼラチンベースバイオゲル.....	54
2.5 環境調和型 MEMS に有望なデバイスシステム.....	55
2.5.1 環境調和型 MEMS の分類について.....	55
2.5.2 MEMS 分類と環境調和型 MEMS (EfriM) 戦略策定委員会でのシナリオとの 関係.....	55
2.5.3 生分解性 MEMS センサ.....	56
2.5.4 無害材料による MEMS センサ.....	57
2.5.5 無線送受信技術.....	58
2.5.6 無線電力伝送技術.....	60
2.5.7 自然に優しいエネルギーデバイス.....	61
2.5.8 堆肥可能（生分解）材料によるセンサシステム.....	62
2.5.9 無線通信資源に関する課題.....	62
第3章 環境調和型 MEMS デバイスの省エネ型製造技術の検討.....	64
3.1 有識者への調査.....	64
3.1.1 プリントドエレクトロニクス技術.....	64
3.1.2 ナノインプリント技術.....	67
3.1.3 極薄 MEMS 及び印刷デバイス技術の研究開発.....	69
3.1.4 並行平板印刷法の研究開発.....	70
3.2 環境調和型 MEMS に有望な製造技術.....	73
3.3 環境調和型 MEMS に有望な製造技術の省エネ性について.....	88
第4章 環境調和型 MEMS 実現に向けた方策提案.....	89
4.1 環境調和型 MEMS のシナリオ.....	89
4.2 シナリオから抽出した技術戦略マップ.....	91
4.3 ユースケース毎の開発戦略.....	93
4.3.1 インフラ分野の開発戦略.....	93
4.3.2 災害分野の開発戦略.....	98
4.3.3 農業分野の開発戦略.....	103
4.4 時間遷移を考慮した EfriM 技術の開発戦略.....	109
4.5 今後の展開.....	111
[資料編].....	A1

付録 国内外動向調査（応用、材料・デバイス、製造技術）	A1
1.1 調査概要	A1
1.2 環境調和型 MEMS 実現のインフラ、災害、農業分野での技術及び応用の調査	A2
1.2.1 適用分野検討	A2
1.2.2 先進事例調査	A5
1.2.3 応用分野調査 ーインフラ分野ー	A10
1.2.4 応用分野調査 ー災害分野ー	A16
1.2.5 応用分野調査 ー農業・畜産・水産分野ー	A30
1.2.6 参考情報 ー材料・デバイス、製造技術ー	A42
1.3 自然に還る材料と自然の中に固定化する材料及びそれらを用いた環境調和型 MEMS デバイスの調査	A51
1.3.1 MEMS で利用されている環境調和型材料とその利用例	A51
1.3.2 事例調査（自然に還る材料）	A53
1.3.3 事例調査（自然に固定化する材料）	A65
1.3.4 事例調査（自然に還る・固定化する材料を用いたデバイス）	A67
1.3.5 事例調査（その他）	A71
1.3.6 MEMS・半導体材料と、環境にやさしい材料候補	A72
1.4 環境調和型 MEMS デバイスの省エネ型製造技術の調査	A74
1.4.1 省エネ型製造技術概要	A74
1.4.2 先進事例	A76