

平成18年度～平成20年度成果報告書

高集積・複合MEMS製造技術開発事業

「高集積・複合MEMS知識データベースの整備」

平成21年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

(委託先) 財団法人マイクロマシンセンター

目次	1
まえがき	2
1. 研究開発の成果と達成状況	5
1-1 研究開発の成果	5
① 要約	5
①-1 和文要約	5
①-2 英文要約	7
② 本文	9
②-1 高集積・複合MEMS製造技術に関わる知識データの収集、整理	10
②-2 知識データの研究開発	11
②-3 高集積・複合MEMS知識データベースの構築	17
②-4 プロジェクトの推進並びに本開発事業の運営管理支援	31
1-2 目的に照らした達成状況	32
2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況	32
2-1 研究発表・講演	32
2-2 文献	35
2-3 特許	38
2-4 成果普及活動(プレス発表等)	38

## まえがき

MEMS技術は、高付加価値・研究開発型産業へと転換が迫られているわが国の製造業において、製品機能の技術的な差別化を図るキーデバイスを創出するものとして今後の更なる高度化、拡大化が期待されている。

これまでわが国のMEMS技術は、微小三次元構造加工による単機能MEMSデバイスを中心に進展してきたことから、高集積・複合MEMSの製造技術に関し、小型化・高性能化を実現する基盤技術の確立や科学技術的知見の更なる系統的な蓄積、整理が必要となっている。

この基盤技術の確立を目的として、「高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクト」が平成18年度から平成20年度の3年間、NEDO委託・助成事業として実施された。このプロジェクトでは、図1に示すように、ナノ機能との複合技術の開発、半導体との一体形成技術の開発、およびMEMS－MEMS間の高集積結合技術の開発の3つの研究開発カテゴリから成り、これまで個別に開発されてきたセンサ・通信用デバイス等について、これらの高集積・複合MEMS製造技術を活用することで、小型・省電力・高性能・高信頼性を可能にする高度MEMSデバイスの製造技術の開発に取り組んだ。この取組によって、MEMSデバイスは2ndステージへの移行(図2)が展望されることから、この新たな段階のMEMSの愛称としてファインMEMSの名称を付けた。

「高集積・複合MEMS（ファインMEMS）知識データベースの整備」は、ファインMEMS製造技術開発プロジェクトの一環として、高度MEMSの開発を目指す様々な産業界の技術者を支援するため、このプロジェクトの全研究項目の研究開発を通じて得られる製造技術に関わる知見、研究成果等の知識データ、および当該分野に優れた知見を有する大学の研究開発成果から得られる主要な知識データを体系的に収集、整備した知識データベースの構築を目指した。構築した知識データベースはウェブを通じてわが国産業界に広く公開するとともに、NEDO委託事業(平成16年度～平成18年度)「MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト」の成果であるMEMS用設計解析支援システム(以下「MemsONE」という)に付加することにより効果的な普及を図ることを目的とした。

また、図3にはファインMEMS知識データベース開発のスケジュールと助成(企業)対象の研究内容に関する知識データ補完のための研究開発項目(大学再委託)を示す。

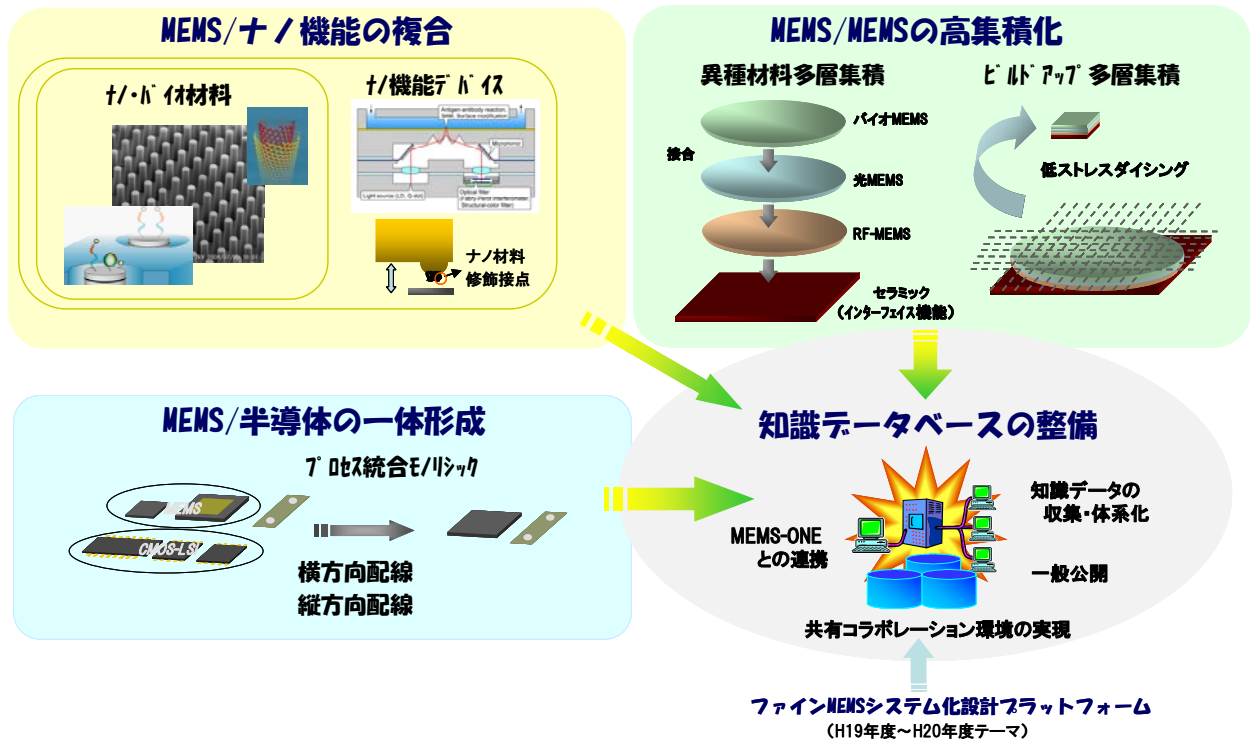


図1 ファインMEMSプロジェクトの開発カテゴリと知識データベースの構築

## MEMS産業戦略シナリオ

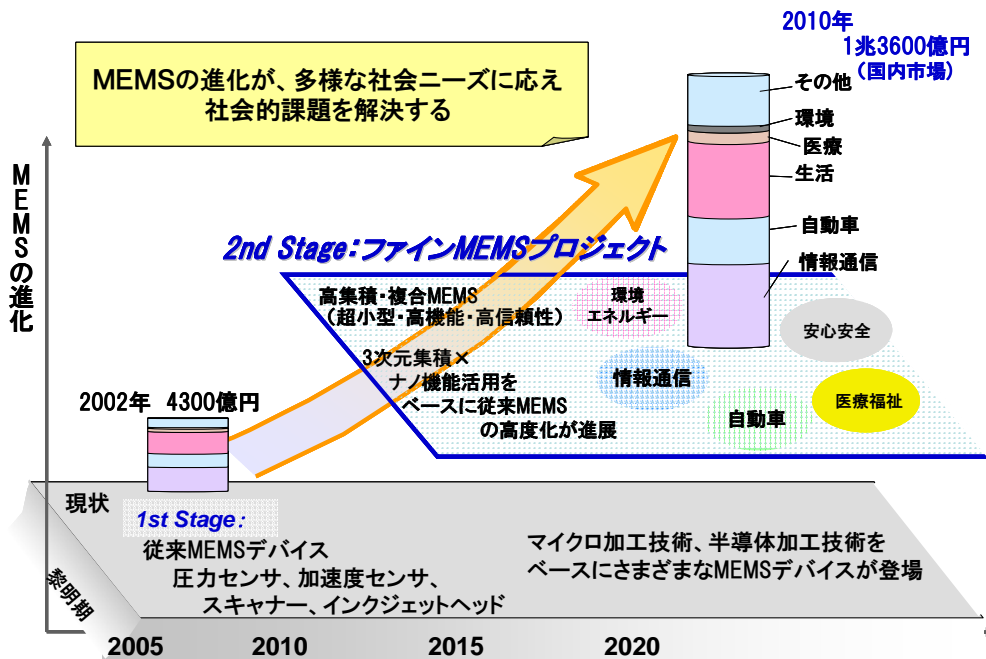
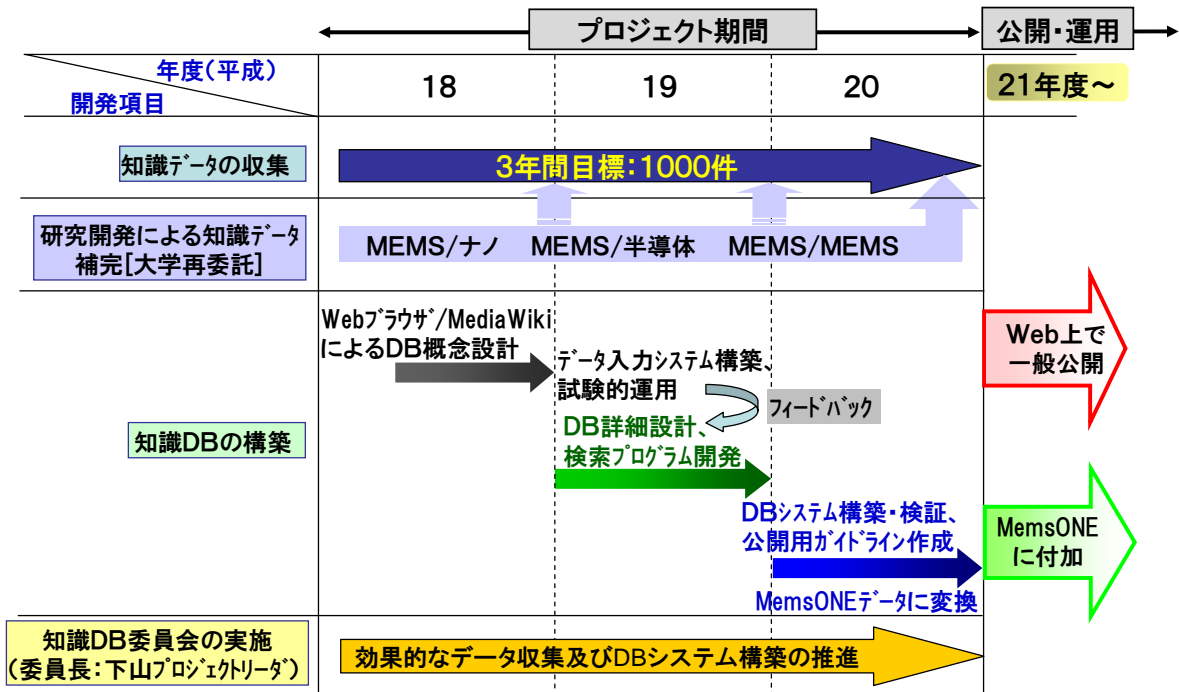


図2 ファインMEMSプロジェクトの位置付け

## 高集積・複合MEMS知識DBの整備計画



網羅的な知識データの収集を行うために、助成事業の中で補完が必要と思われる項目について大学に研究開発を再委託する

### 大学再委託の研究開発

- MEMS/半導体におけるプロセス統合モノリシック技術に関する知識データベースの研究開発 … 東京大学 杉山研究室
- 高集積化MEMS解析手法に関する知識データベースの研究開発 … 東京大学 藤田研究室
- MEMS/半導体における高集積配線技術のための知識データベースの研究開発 … 東京大学 三田研究室
- MEMS/MEMSにおける多層接合技術のための知識データベースの研究開発 … 東京大学 須賀研究室
- MEMS/MEMS結合技術のための知識データベースの研究開発 … 慶応義塾大学 三木研究室

図3 知識データベース(知識DB)開発のスケジュールと大学再委託の研究開発項目

## 1. 研究開発の成果と達成状況

### 1-1 研究開発の成果

#### ① 要約

##### ①-1 和文要約

#### 事業の概要

わが国のMEMS技術は、これまで微小三次元構造加工による単機能MEMSデバイスを中心に進展してきたことから、今後の成長が期待される高集積・複合MEMSの基盤製造技術に関し、科学技術的知見の更なる系統的な蓄積、整理が必要となっている。

そこで本研究開発では、高度MEMSの開発を目指す様々な産業界の技術者を支援するために、「高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクト」の全研究項目の研究開発を通じて得られた製造技術に関わる知見、研究成果等の知識データ、および当該分野に優れた知見を有する大学の研究開発成果から得られる主要な知識データを体系的に収集、整備した高集積・複合MEMS知識データベースの構築を実施した。

構築した知識データベースは、プロジェクト終了後にウェブを通じてわが国産業界に広く公開するとともに、「MEMS用設計・解析支援システム開発プロジェクト」の成果であるMEMS用設計解析支援システム(MemsONE)に付加することにより効果的な普及を目指す。

#### 事業の成果

##### ・高集積・複合MEMS製造技術に関わる知識データの収集、整理

高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトに参画した事業者(委託及び助成)の研究開発成果(研究データ、科学的知見、および文献情報)、再委託した大学の研究開発の成果、および(財)マイクロマシンセンター(以下MMCという)が国内外の学会等で収集した発表論文、技術文献等について、本プロジェクトの研究キーワードで分類した知識データ(1557件)として体系的にデータベース化を行った。また、本プロジェクトに関わる特許情報として、2000年以降の国内公開特許、米国登録特許、およびPCT公開特許を調査し、抽出した4574件を本プロジェクトの研究開発項目で分類して、データベースに実装した。さらに、特許出願件数の多いMEMS/半導体の一体形成技術およびMEMS/MEMSの高集積結合技術については、主要な企業、研究機関の出願動向をまとめた分析資料集を作成し、これらをデータベースに実装した。

##### ・知識データの研究開発

助成事業対象の研究内容に関する知識データの収集を補完するため、大学研究室へ以下の研究開発を再委託することにより、それらの成果として知識データ(456件)を収集し、データベースに実装した。

①MEMS/半導体におけるプロセス統合モノリシック技術に関する知識データベースの研究開発

②高集積化MEMS解析手法に関する知識データベースの研究開発

③MEMS / 半導体における高集積配線技術のための知識データベースの研究開発

④MEMS / MEMSにおける多層接合技術のための知識データベースの研究開発

⑤MEMS / MEMS 結合技術のための知識データベースの研究開発

・高集積・複合MEMS知識データベースの構築

高集積・複合MEMSに係わる研究者・技術者が容易に活用でき、しかも自由に知識データの追加・修正が行える環境を実現するために、インターネットを通じて複数のユーザが自由記述・閲覧可能な Web ブラウザ/MediaWiki システムをベースにして、知識データベースの構築を実施した。知識データの体系的格納を可能に、かつ支援できるデータベースのシステム、入力・表示・検索機能を開発した。これらの機能を搭載したシステムは、インターネット経由で知識データを収集・閲覧できる、知識データ収集用システムとして試験運用を開始し、設計検証、機能・操作性向上を図った。さらに、このデータ収集用システムは、一般ユーザのログイン・アカウント作成機能、利用規約・ガイドラインを実装して、公開用高集積・複合MEMS知識データベースの構築を完了した。また、本プロジェクトの知識データは、データ変換ツールの作成により、MemsONE 知識データ形式への変換を完了した。

#### 今後の課題

プロジェクトで整備した高集積・複合MEMS知識データベースは、我が国の産業インフラとして普及させるため、ウェブを通じて一般公開すると共に、マイクロマシン/MEMS 展などの機会を活用して、紹介する場を設ける予定である。さらに、プロジェクト参画研究者および有識者から成る MEMSPedia 編纂委員会（仮称）を設置し、本データベースのより一層の充実に取り組んでいく。

## ①-2 英文要約

### Summary of the project

Up to now, the development of MEMS technology in Japan has focused primarily on single-function MEMS devices created through three-dimensional microstructure processing. Accordingly, what is needed now is further systematic accumulation and organization of scientific and technical knowledge relating to the basic manufacturing technology for highly integrated, complex MEMS, for which future growth is anticipated.

The purpose of this research and development project was to provide support for the engineers in various industrial fields working to develop advanced MEMS. This was done by compiling a fine MEMS knowledge database for the systematic collection and organization of findings, research achievements and other knowledge data relating to manufacturing technology, obtained through research and development for all of the research topics of the Highly Integrated, Complex MEMS Production Technology Development Project (Fine MEMS Project), as well as the key knowledge data obtained through research and development achievements at universities that possess outstanding knowledge in this field.

Following the completion of the project, this knowledge database will be made available throughout the industrial world in Japan via the Internet. Moreover, to ensure its effective dissemination, the database will be added to the Open Network Engineering System for MEMS (“MemsONE”) achieved as a result of the project for a Computer-Aided Engineering System for MEMS.

### Achievement of the project

-Collection and organization of knowledge data relating to highly integrated, complex MEMS manufacturing technology

A database of knowledge data (1,557 items), classified in terms of the research keywords for this project, has been systematically compiled. The database comprises the research and development achievements (research data, scientific knowledge and bibliographical information) of the entities, both commissioned entities and grant recipients, that participated in Fine MEMS Project, as well as the achievements of research and development projects re-commissioned to universities and the presentation papers, technical literature etc. collected by the Micromachine Center from academic societies and the like both at home and abroad. Moreover, a study was conducted of domestic laid-open patents from 2000 and thereafter, in addition to patents registered in the United States and international applications published under the Patent Cooperation Treaty (PCT). The 4,574 patents selected in the study were classified according to the research and development categories of this project to compile a database of patent information relating to the project. An information packet has also been prepared based on an analysis of the patent application trends of major companies and research institutions, focusing on the areas of MEMS/semiconductor integration and multiple MEMS integration technologies for which many patent applications have been filed.



This information has also been compiled in database form.

- Knowledge data research and development

To supplement the knowledge data relating to the content of grant project research, the following research and development projects were re-commissioned to university research laboratories, and the knowledge data achieved as a result (456 items) were collected and compiled in database form.

1) Research and development on knowledge database regarding MEMS/semiconductor process and monolithic-integrated-fabrication technology

2) Research and development on knowledge database regarding analytical techniques for highly integrated MEMS

3) Research and development on knowledge database regarding highly integrated interconnect (wiring) technologies for MEMS/semiconductors

4) Research and development on knowledge database regarding multilevel interconnect technologies for MEMS/MEMS

5) Research and development on knowledge database regarding coupling technologies for MEMS/MEMS

- Construction of a knowledge database for highly integrated and complex MEMS

To create an easy-to-use environment for researchers and engineers working in the area of highly integrated, complex MEMS, one that allows knowledge data to be freely added and revised, a knowledge database was constructed using the web browser and MediaWiki system that allows multiple users to freely contribute and view knowledge data on the Internet. A database system and input, display and search functions were developed to enable and assist the systematic storage of knowledge data. Trial operation as a knowledge data collection system was begun for the purpose of verifying the design and improving functions and ease of use. The data collection system was also equipped with general user login and account creation functions as well as terms of use and guidelines. The result is a database of knowledge relating to highly integrated, complex MEMS that is available for use by the general public. The creation of data conversion tools also enabled completion of the conversion to MemsONE knowledge data format of the knowledge data gathered in the course of this project.

Future plan

The Fine MEMS Knowledge Database constructed in this project will be made publicly available on the Internet to encourage use of the database as a part of Japan's industrial infrastructure. Use of the database will also be promoted at the Exhibition Micromachine/MEMS and other venues. In addition, a committee tentatively called the MEMSPedia Compilation Committee, made up of researchers participating in the project and other knowledgeable persons will be established to work for further enhancement of the database.

②本文（再委託による成果を含む。）

②-1 高集積・複合MEMS製造技術に関わる知識データの収集、整理

高集積・複合MEMS製造技術に関わる知識、知見を集約するとともに、代表的なデバイス、プロセス、計測評価等関連技術について事例を含めて、知識データとして集約を行った。本開発事業の参画事業者（委託先及び助成先）の研究開発の成果（研究データや科学的知見）および再委託する大学の研究開発の成果に加え、国内外のMEMS関連の主要学会や主要学会誌（出版物）から知識データ情報を収集し、目標 1000 件に対して 1557 件の知識データを収集し蓄積した。また、最新の知識データを収集した学会・シンポジウムは次の世界的主要学会をカバーした。

（1）Optical MEMS 2006（International Conference On Optical MEMS and Their Applications, 2006年8月21日～24日、アメリカ）においては、特に光MEMSに関する高集積化関連技術の情報収集を主に行った。

（2）NNT2006（Fifth International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology, 2006年11月15日～17日、アメリカ）においては、ナノ構造或いはナノ修飾に関する製造技術の先端的な研究開発情報収集を主に行った。

（3）2006IEDM（2006 IEEE International Electron Devices Meeting, 2006年12月10日～13日、アメリカ）においては、半導体集積化の中でのMEMS関連技術の知識データの収集を主に行った。

（4）Transducers 2007（International Conference On Solid-state Sensors and Actuators and Microsystems, 2007年6月10日～14日、フランス）において、特にSensorやActuatorに関するMEMS高集積化関連技術の知識データの収集を主に行った。

（5）MNE2007（33rd International Conference on Micro- and Nano-Engineering, 2007年9月23日～26日、デンマーク）においてマイクロ及びナノに関する機能の複合化関連技術の知識データの収集を主に行った。

（6）2007IEDM（2007 IEEE International Electron Devices Meeting, 2006年12月10日～12日、アメリカ）においては、半導体集積化の中でのMEMSの高集積化関連技術の知識データの収集を主に行った。

（7）EUROSENSORS 2008（22nd international conference EUROSENSORS, 2008年9月7日～10日、ドイツ）において、SensorやActuatorに関するMEMS高集積化関連技術及びパッケージング技術並びにアSEMBル技術の知識データ収集を主に行った。

（8）MNE2008（34rd International Conference on Micro- and Nano-Engineering, 2008年9月15日～18日、ギリシャ）においてマイクロ及びナノに関する機能の複合化関連技術の知識データの収集を主に行った。

また、高集積・複合MEMS製造技術に関わる特許情報として、①MEMS/ナノ機能の複合化技術、②MEMS/半導体の一体形成技術、③MEMS/MEMSの高集積結合技術の三つの研究開発項目を対象に、2000年以降2009年2月までに公開された国内（公開）、米国（登録）

(国際特許 PCT 出願 (公開) は、2000 年以降 2006 年 11 月まで) の総件数 12627 件を、調査、分析し、ファイン MEMS に係わる 4574 件を分類・抽出してデータベースに実装した (表 1、図 4 参照)。

さらに、ファイン MEMS カテゴリの内、②MEMS/半導体の一体形成技術、③MEMS/MEMS の高集積結合技術 (主にパッケージング関連技術) ついては、国内特許情報では表れてこない欧米企業・研究機関等の出願動向を調べるために、米国 (登録)、欧州 (EP 公開)、国際 PCT 出願 (公開) を対象に、分析し、主要な企業、研究機関の出願動向をまとめた総論部、及び代表的な特許情報の要約 (和文) と特許フロントページを配置した各論部から成る分析資料集をデータベースに実装した。

表 1 ファイン MEMS 関連特許分類一覧

ファイン MEMS 分類	国内公開特許	米国登録特許	PCT 公開特許
A1: MEMS/ナノ機能の複合技術	204	10	2
A2: MEMS/半導体の一体形成技術	191	66	13
A3: MEMS/MEMS の高集積結合技術	66	32	2
A4: その他*	3968	20	—
抽出合計	4429	128	17

\* A4 (その他) は、A1～A3 への分類困難であるが、ファイン MEMS に関連する特許

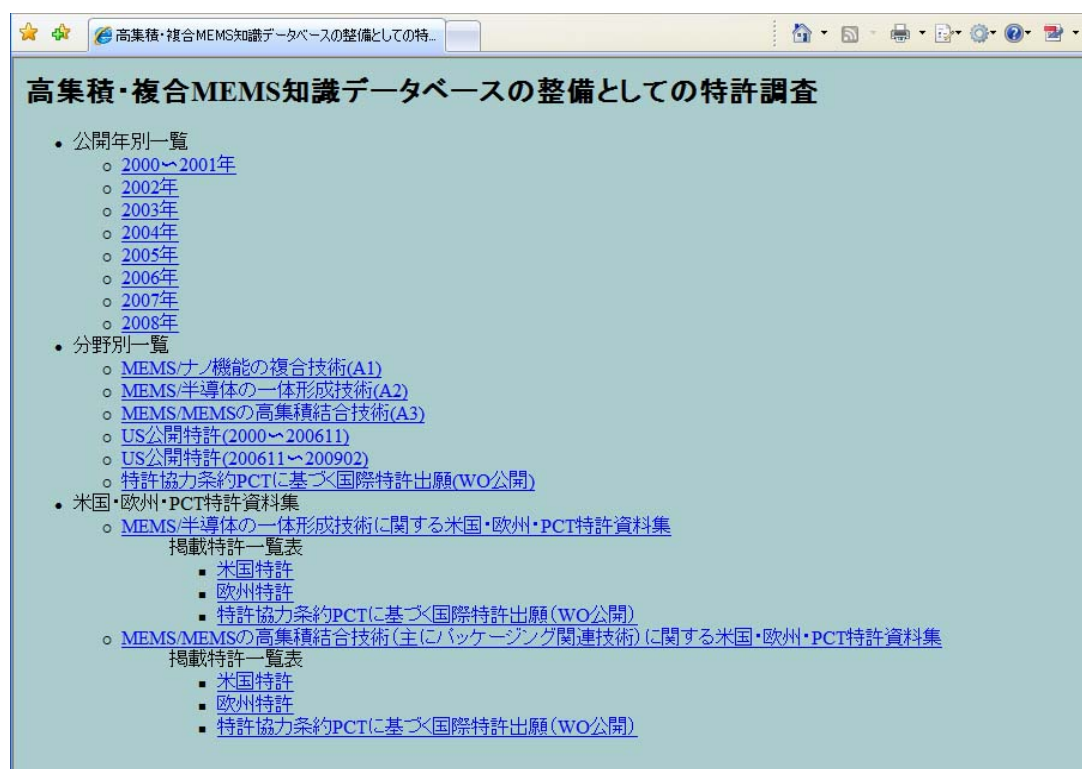


図 4 知識データベースに実装した特許調査・分析資料の一覧

## ②-2 知識データの研究開発

助成（企業）対象の研究内容に関する知識データの収集を補完するため、MMCから大学研究室へ以下の研究開発を再委託することにより、それらの成果としての知識データを収集、整理した。

### （1）MEMS／半導体におけるプロセス統合モノリシック技術に関する知識データベースの研究開発 （東京大学 杉山研究室）

目的) CMOS デバイスとMEMSを1チップに集積させ新機能を発現するモノリシック集積技術は、次世代MEMSを設計するためにきわめて重要である。これには、エッチング、精密アラインメント、薄膜堆積による高アスペクト構造の埋め込み、平坦化など様々な要素技術が含まれている。しかもLSI製造技術と違ってこれらの要素技術が標準化されていない。そこで、すでに製作されているモノリシック集積MEMSに関する知見、今後MEMSに利用可能な新技術（たとえば超臨界製膜技術など）に関する知見を文献・学会発表などのデータから抽出し、知識データベースに入力した。

研究開発の成果) 平成18年度は、プロセス統合モノリシックに関する項目を中心に31件のデータを入力した。とくに、「マイクロゼオライトカラムによるガス分離」、「O<sub>2</sub>プラズマ処理を用いたInP基板とSi基板の接合」など異種材料の融合による高機能化に関連した事例を多く取り上げた。この中には、「マイクロチャネルエピタキシーによるヘテロエピタキシャル層の転位低減」など当研究室の成果を平易にまとめたものも含まれる。

平成19年度は、「シングルウォールカーボンナノチューブ(SWNTs)を用いたNO<sub>2</sub>ガスセンサ」など異種材料融合プロセスに関する事例をさらに入力するとともに、「水素化アモルファスシリコンを用いた高電圧太陽電池アレイ」、「光発電による静電アクチュエータの直接駆動」など太陽光発電のMEMSへの取り込みに関する事例を、今後の展開が期待される分野として取り上げた。また、「超臨界CO<sub>2</sub>を媒体に用いた金属製膜」、「超臨界CO<sub>2</sub>を用いたガラス表面への生態適合材料のコーティング」など当研究室で開発したプロセス技術で、モノリシック集積MEMSに関連の深い技術を平易にまとめて事例として入力した（平成19年度の知識データの登録件数30件）。

平成20年度は、「CMOS上マイクロ流路での磁性体微粒子の操作と光学検出」、「リコンフィギュラブルICに向けたCMOSMEMSプローブの作製」など、CMOSとマイクロ分析デバイスやMEMSとの集積に関する事例、「CMOSプロセスによるシリコンナノワイヤアレイの作製」などCMOSプロセスを用いてMEMSに応用可能な機能構造を作製する事例を中心に、30件を入力した。また、すでに入力されたデータベース内の事例を改良するためのコメントを50件入力した。

このような事例入力と並行して、データベースの内容をプロセスで実証するための実験を行った。LSIとMEMSの統合プロセスに不可欠なシリコンの深掘りエッチングに関して、超高真空蒸着装置を立ち上げ、アルミをマスクとした高アスペクト比のエッチングを可能

にした。さらに、等方性エッチングと異方性エッチングのバランスによる3次元形状形成を支配するメカニズムを明らかにするための系統的な実験を行い、解析モデルとの比較検討によりエッチング形状を大枠で予測するモデルを構築した。

このような深掘りエッチング技術を活用したMEMSの作製にシミュレーションがどこまで精度よく活用できるかを検証するため、MemsONEおよび市販の汎用有限要素法シミュレーションソフト（COMSOL）を用いた櫛歯型振動子の設計を行い、設計に基づいて製作した振動子の機械特性を測定した。シミュレーション結果と実験結果の比較により、MemsONEにおけるメッシュ生成の問題などを指摘し、シミュレーションの改善に貢献した。

## （2）高集積化MEMS解析手法に関する知識データベースの研究開発

（東京大学 藤田研究室）

目的) 平成18年度～20年度にかけて、高集積化MEMS解析手法に関する知識データベースの研究開発を行った。平成18年度は、高集積化MEMS解析手法としてマイクロアクチュエータとそれを支持する機構を解析した。平成19年度は、電子回路とマイクロ機構が集積化されたデバイスに着目し、その動作解析手法を調査した。また平成20年度は、「生物を駆動源としたマイクロシステム」、「空気圧駆動マイクロバルブ」の内容を中心に、知識データベースに新規登録を行うとともに、データベースの質的向上を目指し、一二年次に作成したデータベースの内容に加筆を行った。

研究開発の成果) 平成18年度は、高集積化MEMS解析手法としてマイクロアクチュエータとそれを支持する機構の解析を中心に研究した。

まず、多数のマイクロアクチュエータと複雑な支持構造が組み合わされた高集積MEMS駆動デバイスの典型例として、MEMS機械式アナログ・デジタル（AD）変換デバイスを取り上げ、その構造の概要、駆動原理、AD変換原理を考案した。

そして本デバイスの最適な設計を行うため、連成バネ構造を弾性マトリックスで表現し、複数のマイクロアクチュエータからの駆動入力に対してどのような動きをするかを解析した。その結果に基づき、12ビットの機械式AD変換デバイスとして適切な動作をするように、総計60以上の支持バネの硬さを決定することができた。この結果を、知識データベースに登録した。

このデバイスは、静電駆動櫛歯型アクチュエータを用いているため、このアクチュエータの基本特性の解析についても検討し、その結果を知識データベースに登録した。すなわち、櫛歯アクチュエータの不安定性の解析手法、安定性を向上しより大きな変位を得るための支持構造の設計手法、位置決め用垂直くし歯型アクチュエータのクロストークを低減するための電極構造解析手法、静電アクチュエータの共振周波数と最大変位を規定する式の導出方法、などを調査した。

次にナノ構造デバイスとして、ウェットエッチングによるシリコン対向ナノ針端の製作方法、ナノ針端をシリコン電界電子放出銃として用いたときの先端の劣化状態を透過

電子顕微鏡内で実時間観察した研究結果、生体分子モータをマイクロ流体デバイスに付加し標的分子を選択的に直接搬送するデバイスなどについて知識データベースに登録した。さらに、アクチュエータアレイチップとセンサアレイチップの積層集積化方法を含め、全部で 10 件を登録した。

平成 19 年度は、高集積化 MEMS の解析手法を検討するため、多くの電子回路とマイクロ機構が集積化されたデバイスに着目し、その動作解析手法を調査した。

解析ソフトウェアを用いて、センサとアクチュエータを集積したデバイスの動作解析を行った。そして実験結果との対比による解析の有効性の検討を試みた。これを高集積化 MEMS のデータベースへ追加した。またデータベースへ新規のキーワードなどを追加した。さらに文献検索によりデータを蓄積した。加えて、MEMS-08 (米国) に出席し、関連情報を収集した。以上の結果、知識データ累積登録件数は 61 件であった。

平成 20 年度は、高集積化 MEMS 解析手法に関する知識データベースを充実させるために、以下の 3 つの活動を行った。

他ユーザが登録した項目に対して、より内容の詳細が必要だと思う部分に、計 52 件のコメントを記入した。(データベース、ノートへの 52 件のコメント記入)

「生物を駆動源としたマイクロシステム」、「空気圧駆動マイクロバルブ」の内容を中心に、知識データベースに新規登録を行った。また第 25 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムに出席し、情報を収集し、この情報についても登録を行った。(知識データ累積登録件数：93 [61+32]件[2009年3月2日現在])

さらにノートに記載された 21 のコメントに対し、対応を行った。具体的には、データベースの項目に図表、説明、リンクの追加を行い、データベースの内容を充実させた(データベース、21 件コメントへの対応)。

### (3) MEMS/半導体における高集積配線技術のための知識データベースの研究開発

(東京大学 三田研究室)

目的) MEMS に先端 CMOS 回路を集積化することで、寄生素子の低減による性能向上や、機械部品が主体であった MEMS 単体では不可能であった、高度なその場情報処理等新機能が創出されると期待できる。この、CMOS-MEMS 集積化技術の鍵となる技術は CMOS 回路と MEMS との間を接続する「微細配線技術」である。わが国をはじめ欧米、アジア等で集積化 MEMS の実現方法が提案されているが、これらの成果をひとつのデータベースにまとめることで技術の利用価値を向上させるものである。

研究開発の成果) 論文調査、MEMS 集積化技術を研究している諸外国の研究機関の技術者と面会、国際会議等に出席、等の方法で、様々な研究機関で発表されている異種部品融合・微細配線技術のサーベイを行い、統一した形式でデータベース化した。また、CMOS ポストプロセスを実際に行っている研究所・企業において実地調査(研究代表者自らの手によるプロセス実行も含む)を行い、成果をデータベース化した。このような研究を行い、生

のラボデータを記入することによって論文では得られない<<現場>>の知見をデータベース化することができた。特に、研究代表者自らが全てのデータベース並びにコメントの記入を行うことで、質の高いデータベースの実現に寄与できたと考えている。

平成18年度は、シリコン MEMS 構造を利用した立体配線技術、機械的に MEMS 構造と LSI との位置合わせを取る技術について、重要と思われる技術を東京大学武田先端知ビルにおいて追試し、得られた内容を元に使いやすいデータベース整備を行った。また、CMOS 8 インチラインをもち、ポストプロセスを専門とするエジンバラ大マイクロエレクトロニクスセンターに出張し、配線技術に関する情報収集を行った。同大学はスコットランドにおける R&D センターの中心として最近新築されたクリーンルームを持ち、CMOS イメージセンサ発祥の地であるなど、イメージセンサや CMOS 回路についての欧州における重要な拠点のひとつである。学会は Nanotech Montreux 2006、MEMS2007 に出席し動向調査を行った。

平成19年度は、前年度に引き続いて実地調査先として、エジンバラ大マイクロエレクトロニクスセンターを選び、第一・第二四半期に同大学に研究代表者自らが長期出張を行った。ここではポストプロセスによる配線技術とその応用をサーベイ・追試・開発した。生まれた成果を平成20年3月の国際会議 International Conference on Microelectronic Test Structure (ICMTS 2009, Edinburgh) で発表し、内容を速やかにデータベース化した。また、学会のチュートリアルから抜粋してデータベースを充実させた。学会ならびに研究会として同年度に始まった「ナノテクノロジー・ネットワーク」への会合に出席して技術動向を調査、MEMS2008 に研究代表者が出席して動向調査を行った。また本研究開発の予算によって Transducers2007 に出席し、引き続き LETI/CEA、LAAS/CNRS、IEF/CNRS を訪問して先端 CMOS と MEMS の微細配線に利用可能な技術調査を行った。特に CEA-LETI 訪問が契機となって、技術主任の Jean-Philippe Gouy 氏の紹介によって、厚み 2.5 ミクロンの塗布が可能な電子線レジスト「OEBR-CAP112」を東京大学で継続的に購入するチャンネル開拓に成功し、MEMS 微細配線実験の実施がさらに容易になった。また、東京大学武田先端知ビルのスーパークリーンルーム環境は文部科学省の「ナノテクノロジー・ネットワーク東京大学拠点」を通じて全国の研究所・企業に技術提供ができるため、本邦の MEMS 微細配線技術の加速的な向上に寄与できることになった。

平成20年度は、引き続き文献調査、MEMS 集積化技術を研究している諸外国の研究機関の技術者と面会、国際会議等に出席、等の方法で、様々な研究機関で発表されている異種部品融合・微細配線技術のサーベイを行い、統一した形式でデータベース化した。ICMTS 論文会議、APCOT2008、ESSDERC2009、LATW などの国際学会への出席による情報収集に加えて、CMOS ポストプロセスを実際に行っている研究所・企業、またはアプリケーションとして MEMS を利用する研究所において動向調査を行い、成果をデータベース化した。

#### (4) MEMS/MEMSにおける多層接合技術のための知識データベースの研究開発

(東京大学 須賀研究室)

目的) 本研究は、接合技術に関するデータベース構造化を検討し、データベースの枠組みを構築することを目的とし、接合に関する知識を体系に整理し、高集積化 MEMS との関連をキーワードベースに相関させるものである。特に、当研究グループが中心になって行なってきた、MEMS 関連の低温接合技術研究の 900 余りの論文、および、特許検索等に基づいて、データベースのコンテンツを収集、分析し、さらにまた、ウエハの低温貼合せなどの重要技術については、実験的な検証実験を行い、独自の実験データ収集を行なうことを目的とした。

研究開発の成果) この目的を遂行するため、高集積・複合 MEMS 知識データのうち、特に、接合やウエハ貼合せのプロセス、構造、応用に関わるものに関しての検討を行なった。特に、平成 18 年度については、Wafer Bonding 国際会議への出席、および Polymer パッケージの国際会議の主催により、接合界面に被接合体とは異なる接合介在物質を挿入する方法と直接接合の 2 つの接合方法について、平成 19 年度においては、IEEE-CPMT の低温ウエハ接合国際会議の主催、平成 20 年度には ECS-Wafer Bonding Symposium のアレンジ等を通して、最新のウエハ接合に関する論文、科学技術的知見の蓄積・整理を行った。また、接合技術に関するデータベース構造化を検討し、ローカルなデータベースの枠組みを構築した。当研究グループが中心になって行なってきた、MEMS 関連の低温接合技術研究の 900 余りの論文に基づき、接合に関する知識を体系に整理し、データベースのコンテンツを収集、分析した。特に表面活性化技術、表面改質技術、それらの応用事例を重点課題として、重要と思われる 96 件、ノート 50 件を、ファイン MEMS 知識データベースにアップした。

また、重要技術であるウエハの低温貼合せについては、シーケンシャルプラズマの効果に関する実験、高精度の位置決め、およびフッ素を使った新しい表面活性化手法の実験的検討等に関する実験的な検証実験を行い、Si やガラスに対して、低温接合のための新しい知見を得た。またこれらの実験や調査により収集したデータについても精査した上で本知識データベースに掲載した。

#### (5) MEMS-MEMS 結合技術のための知識データベースの構築

(慶応義塾大学 三木研究室)

目的) 高集積・複合 MEMS の開発者のためのデータベース整備として、知識情報および学会等の新規技術情報の収集・体系化をおこなった。特に、本研究開発では、MEMS の高集積化、複合化に不可欠な MEMS-MEMS 結合技術に関する知識データベースの構築をおこなった。

研究開発の成果) 平成 18 年度は、アクティブ方式およびパッシブ方式による MEMS ウエハもしくはチップの高精度な位置合わせ方法、デバイスの保護かつ異種材料の熱膨張係数



の違いを考慮した接合後プロセスフローなど、ビルドアップ多層集積、チップレベル高精度接合に関し、国内外の最新の研究について、11月に米国バークレーで開催されたPowerMEMS2006、および1月にタイ国バンコクで開催されたIEEE NEMS、その他国内会議や、ジャーナル、書籍より情報収集をおこない、知識データベースに入力した。

また、研究室において当該分野における基礎実験をおこなうために、備品として、ミスアライメント測定アライナ（特殊試料ホルダー：ユニオン光学）、高圧電源（HJPZ-0.3Px3：松定プレジジョン）、金属薄膜成膜装置（SC-701 Quick Coater：サンヨー電子）を購入した。シリコンウエハなど材料を購入し、基礎実験を開始した。入力知識データ実績30件を達成した。

平成19年度は、平成18年度に続き、アクティブ方式およびパッシブ方式によるMEMS ウエハもしくはチップの高精度な位置合わせ方法、デバイスの保護かつ異種材料の熱膨張係数の違いを考慮した接合後プロセスフローに加え、液体の封入接合技術を含むビルドアップ多層集積、チップレベル高精度接合技術、さらにはポストボンディングプロセスに関し、国内外の最新の研究について、1月に米国アリゾナで開催されたMEMS2008、その他国内会議や、ジャーナル、書籍より情報収集をおこない、知識データベースに入力した。また、研究室において当該分野において基礎実験をおこなうために、備品として電気炉を購入した。シリコンウエハなど材料を購入し、液体封入接合技術およびパッシブアライメントに関する基礎実験を行った。入力知識データ実績30件を達成した。

平成20年度は、MEMSの高集積化、複合化に不可欠なMEMS-MEMS結合技術に加え、ファインMEMS分野に大きく貢献すると考えられるナノ構造製作技術に関する知識データベースの構築を行った。特に、金、銀ナノ粒子の製作方法と、それを用いた接合方法、インクジェットや液相反応を利用したナノ構造製作に関する国内外の最新の研究について、2008年6月に台湾で開催されたAPCOT2008、2009年1月にイタリアソレントで開催されたMEMS2009、その他国内会議や、ジャーナル、書籍より情報収集をおこない、知識データベースに入力した。また、シリコンウエハなど材料を購入し、液体封入接合技術およびパッシブアライメントに関する基礎実験を行い、その成果を国際学会MEMS2009にて発表した。断面積が上部と下部で異なる（下部の断面積が上部より大きいとする）マイクロチャンバ内に、非圧縮性かつ揮発性流体であるグリセリンを、大変形可能なシリコーンゴムで封入した。接着剤には紫外線硬化樹脂を用いている。下部をマイクロアクチュエータで駆動すると、上部では、断面積の比に従い、変位が増幅されて出力される。この変位増幅機構を用いることで、触覚ディスプレイや、大流量バルブなど大変位を必要とするアプリケーションに使用可能なMEMSアクチュエータが実現される。特に、グリセリンを空気の混入なく封入するために、液体で封入する技術を確立した。通常のボンダライナが使用できない液中接合のために、シリコーンゴムの凹凸形状を利用したパッシブなアライメント技術を構築した。入力知識データ実績30件を達成した。また、知識データベースの質向上のために、他知識データベースに対し、ノート記入実績50件

を達成した。

以上、平成18～20年度において、MEMS-MEMS 結合技術に関する基礎研究を行うとともに、国内外の学会および論文誌を調査し、90件の知識データをデータベースに入力した。また知識データベースのあり方、内容について検討し、初心者への参考となる知識を共有化するための知識データベースの実現に貢献した。また、研究発表や、講演、および展示会での発表を通じ、当該研究とともに、高集積・複合MEMSに関し収集・体系化された知識データベースの紹介を行い、その普及に貢献した。

### ②-3 高集積・複合MEMS（ファインMEMS）知識データベースの構築

本研究開発では、ファインMEMSプロジェクトの研究開発を通じて得られた成果・知識情報、国際会議情報等を体系的にデータベース化し、高集積・複合MEMS開発・製造を目指す研究者・技術者が容易に活用できる環境を提供することを目的とした。そこで、知識データベースのユーザが、特殊なアプリケーションや専門的記述言語の知識が無くてもデータの閲覧・登録を容易に行え、かつ継続的な知識データの編集・更新も簡単で、複数のユーザが同時に共同作業できる環境の構築に取り組んだ。この環境を実現するインフラとして、フリー百科事典「ウィキペディア」が活用例として知られている Web ブラウザ/MediaWiki システムの導入を行った。インターネットに接続可能な環境であれば、同時に複数のユーザが、気軽にいつでもデータを閲覧・更新・意見交換できることが、この Wiki システムの大きな特徴である。図5に示すように、本研究開発では、Web ブラウザ/MediaWiki システムをデータ蓄積サーバ（MMC内）に実装し、さらに知識データの体系的格納を可能に、かつ支援できるデータベースのシステム、入力・表示・検索機能を開発することで、知識データの蓄積及びデータベースシステムの構築を行った。

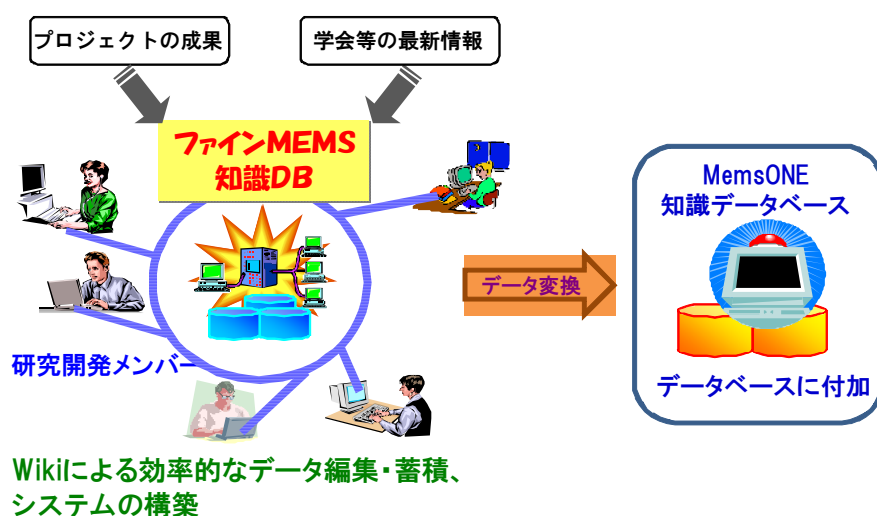


図5 ネット上での共同作業を主眼とする共有コラボレーション環境の構築

まず、平成18年度では、ファインMEMSに関する知識の体系化、データベースの枠組み、知識データの入力方式及び表示方式の設計等に関わる知識データベースの概念設計ならびに入出力方式等に係る技術的評価を踏まえた詳細設計の一部を実施し、知識データ収集用システムの構築と試験的な運用を実施した。さらに、平成19年度では、ファインMEMS知識データベースの詳細設計を完了し、知識データの集積およびシステムの構築作業を行った。また、データベース検索プログラムの開発および特許情報のデータベース化を実施した。そして、平成20年度では、ファインMEMSプロジェクト成果・知識情報の集積、登録データの質的向上を図りながら、知識データベースのWeb上の一般公開に向けたガイドラインの作成および一般公開用システムの構築作業を行った。また、高集積・複合MEMS知識データベースをMemsONE知識データベースへ付加することを目的としたデータ変換作業を実施した。

#### (1) 知識の体系化

知識の体系化として、ファインMEMSプロジェクトの研究開発項目から研究キーワードを抽出、整理を行い、表2のようなカテゴリに分類し、これをMediaWiki上でのデータ入力時の選択項目としてシステムに実装した。

一方、MemsONEは、4つの大分類項目（プロセス、デバイス、材料特性、解析）と、さらにそれぞれが中分類に細分化されたカテゴリで体系化されている。ファインMEMSの知識データをMemsONEの知識データに変換するために、カテゴリ分類の対応関係の明確化を行った。その結果を表3に示す。

表2 ファインMEMS知識データベースにおける知識データのカテゴリ

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>・ ナノ機械構造</li><li>・ 選択的バイオ修飾</li><li>・ 選択的材料修飾</li><li>・ ナノ機能デバイス化</li><li>・ プロセス統合モノシリック</li><li>・ センサ新原理</li><li>・ CMOS/MEMS 多層</li><li>・ 3次元インターポーザル</li><li>・ 擬似SOC</li><li>・ MDW3次元垂直型配線</li><li>・ 自己組織化高密度実装</li><li>・ 異種材料多層集積</li><li>・ ビルドアップ多層集積</li><li>・ チップレベル高精度接合</li><li>・ 低ストレスダイシング</li></ul> |
|--|

表3 ファインMEMSとMemsONEとのカテゴリ関連マトリクス

大分類	MEMS/ONE分類		MEMS/ナノ機能複合技術				MEMS/半導体一体形成技術						MEMS/MEMS高集積化結合技術						
	中分類	ナノ機械構造	MEMS/ナノ機能複合技術	MEMS/ナノ機能複合技術	MEMS/ナノ機能複合技術	MEMS/ナノ機能複合技術	プロセス統合モノシリック	センサ新原理	縦方向配線			横方向配線			異種材料多層集積	ビルドアップ多層集積		低ストレスデザイン	
									CMOS/ME MS多層	3次元インターポーザル	擬似SOC	MDW3次元垂直型配線	自己組織化高密度実装	ビルドアップ多層集積		チップレベル高精度接合			
プロセス	成膜	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎									
	ドライエッチング	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎				◎					
	ウェットエッチング	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎									
	洗浄	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎									
	リソグラフィ	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎					◎				
	接合							◎						◎	◎		◎		
	不純物拡散・熱処理	◎		◎	◎	◎		◎		◎				◎	◎				
	パッケージ							◎						◎	◎				
	マルチプロセス							◎						◎	◎				
その他					◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				◎			
デバイス	制御	光制御	◎		◎		◎		◎		◎			◎	◎		◎		
		電気制御	◎		◎														
		流体制御																	
	感知	物理センシング	◎		◎		◎	◎	◎		◎				◎	◎			
		化学バイオセンシング																	
	可動構造	静電駆動	◎		◎	◎	◎	◎	◎		◎				◎	◎		◎	
		電磁駆動																	
固定構造	マイクロプローブ	◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎				◎	◎				
	マイクロニードル																		
材料	半導体材料					◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	酸化膜/窒化膜					◎		◎		◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	ポリマー							◎		◎				◎	◎	◎	◎		
	ガラス/セラミクス								◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	磁性材料											◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	圧電材料							◎				◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	形状記憶合金																		
	その他							◎				◎	◎	◎	◎	◎	◎		
材料特性	基本特性	◎		◎								◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	力学特性	◎		◎	◎			◎											
	熱特性	◎		◎	◎			◎						◎	◎				
	電気特性			◎	◎	◎		◎	◎		◎								
	光学特性	◎	◎														◎		
	圧電特性							◎				◎	◎						
解析	応力ひずみ解析				◎			◎						◎				◎	
	接合解析							◎						◎		◎		◎	
	プロセス解析																		
	半導体解析																		
	伝熱解析																		

(2) 知識データ収集用システムの構築

上述の「知識の体系化」の検討結果に基づき、知識データを格納するデータベース及び知識データの入力・表示方式の設計を行い、さらにデータの入力およびウェブを通じて広く公開する際に必要な機能について開発を行った。図6には、MMC内に構築した知識データ収集用システムの概要を示す。この収集システムは、2006年12月に運用を開始し、本事業参加メンバー（委託・助成事業者・再委託大学）がインターネット経由で、直接知識データを入力・参照することが可能となった。また、このシステムの改善については、ファインMEMS知識DB委員会活動(②-4 プロジェクトの推進並びに本開発事業の運営管理支援参照)を通じて、データ収集進捗管理、学会等の最新情報のデータベース化と並行して取り組んだ。

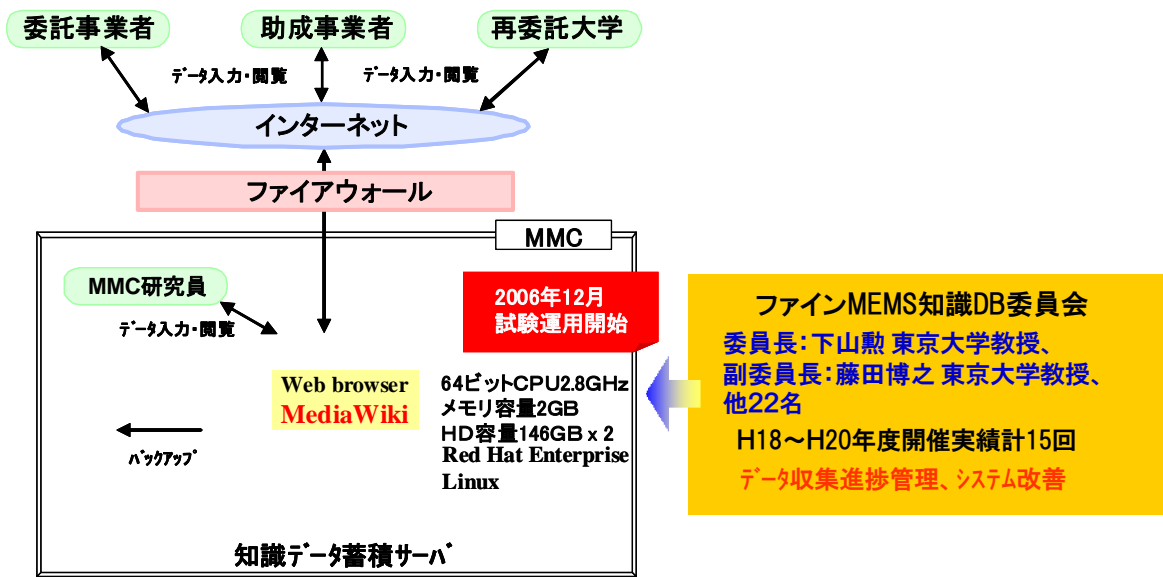


図6 知識データ収集用システムの概要

次に、知識データ収集用システムに実装した機能の概要を以下に示す。

図7-1にはシステムのメインページを示す。



図7-1 データベースメインページ画面

図7-2には、知識データ入力（新規事例入力）画面を示す。この画面では、事例タイトル、カテゴリ（表3）を選択し、知識データ（事例）タイトルを入力後、新規事例入力ボタンを押すことで、選択したカテゴリに対応する編集画面を表示させ、各種情報を入力・登録することができる。編集画面で入力したデータ例を図7-3に示す。

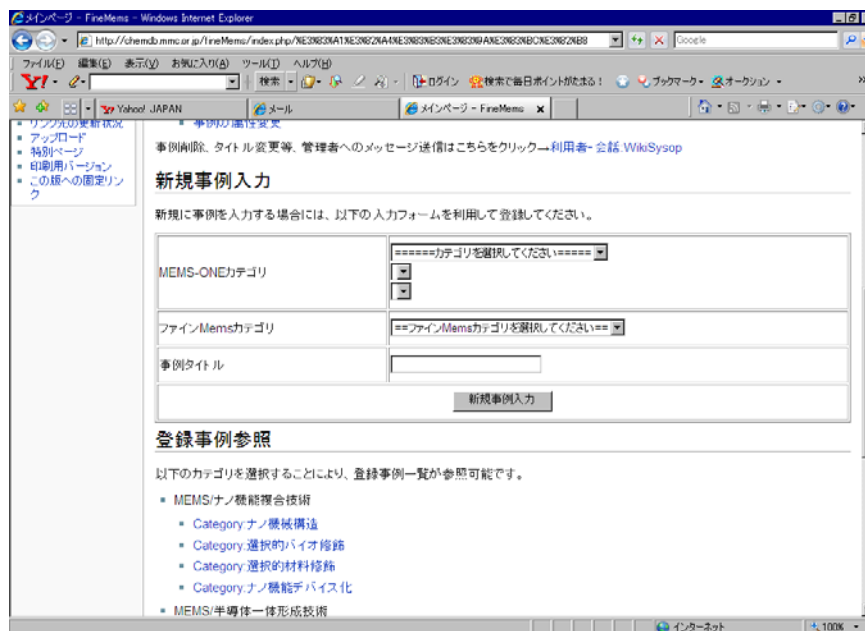


図7-2 知識データ入力画面



図7-3 編集画面で入力した知識データの例

また、このシステムでは、ファインMEMSカテゴリでのデータ集積状況およびMemsONEカテゴリ分類でのデータ集積状況を表示させる機能を実装した。図7-4には、ファインMEMSカテゴリ毎の登録数を表示した例を示し、図7-5には、MemsONEカテゴリ分類でのデータ集積状況を表示した例を示す。

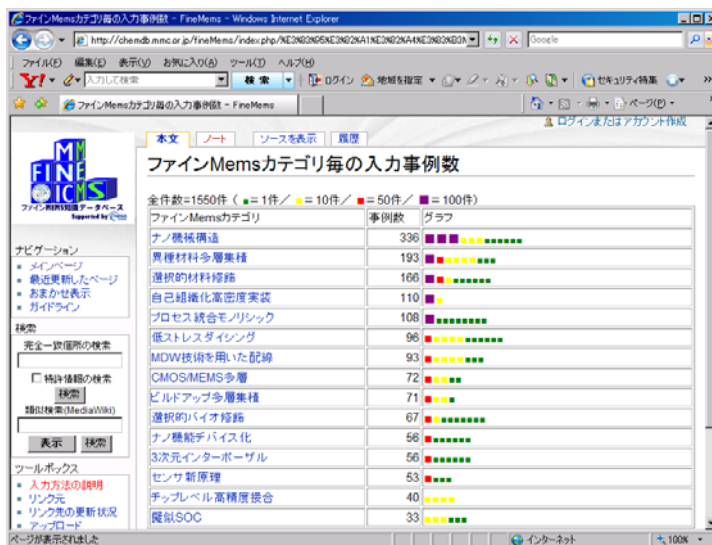


図7-4 ファインMEMSカテゴリ別の入力ランキング表示例



図7-5 MemsONEカテゴリ別の入力ランキング表示例

さらに、本システムでは、データベースの使い勝手を高めるために、日本語の検索精度を高めた検索ボックスを実装した。このボックスでは、登録データのタイトル、及び本文について検索ワードの完全一致部分を検索することができ、空白区切りでAND検索が可能である。さらにこの検索機能では、特許データベース対象・非対象を選択可能とし、特許データの全文検索結果を網羅することが可能である。図7-6に、検索実行の表示例を示す。

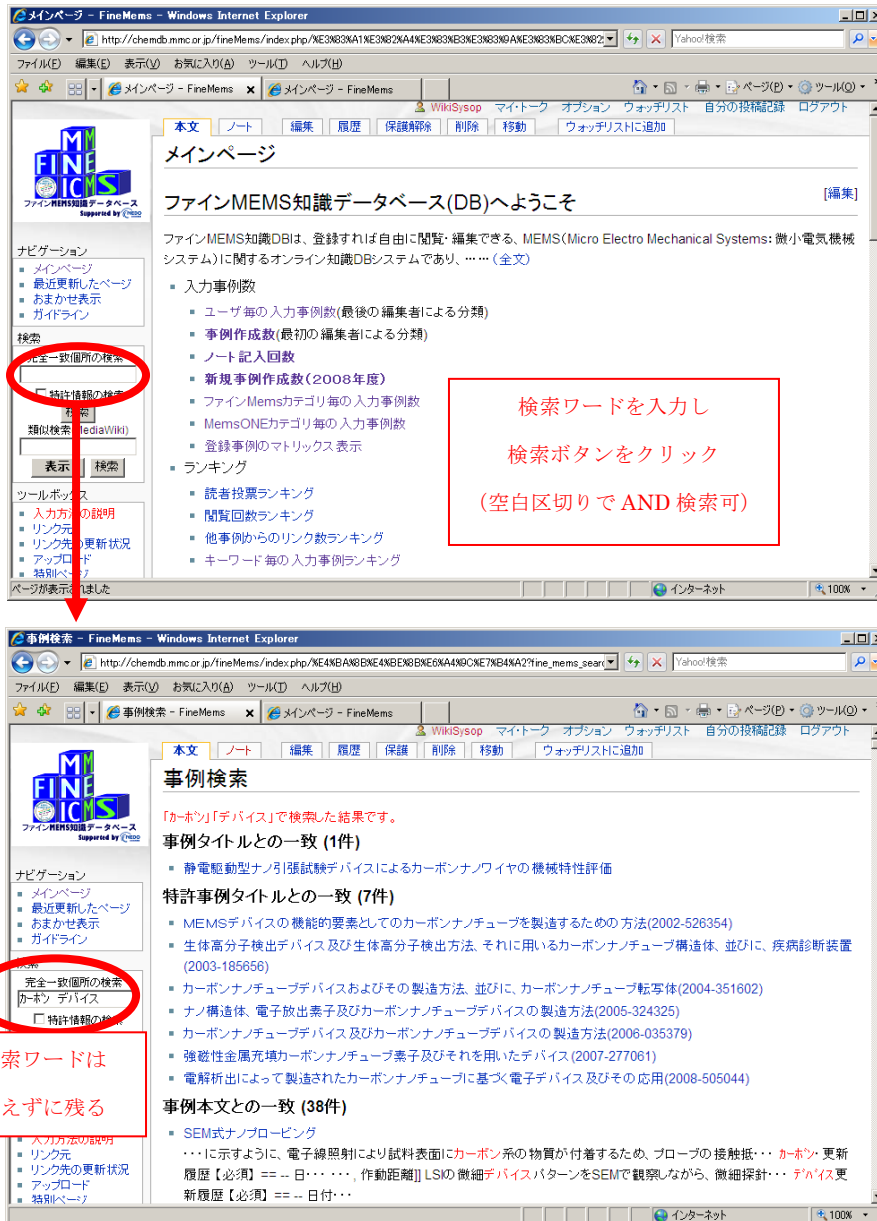
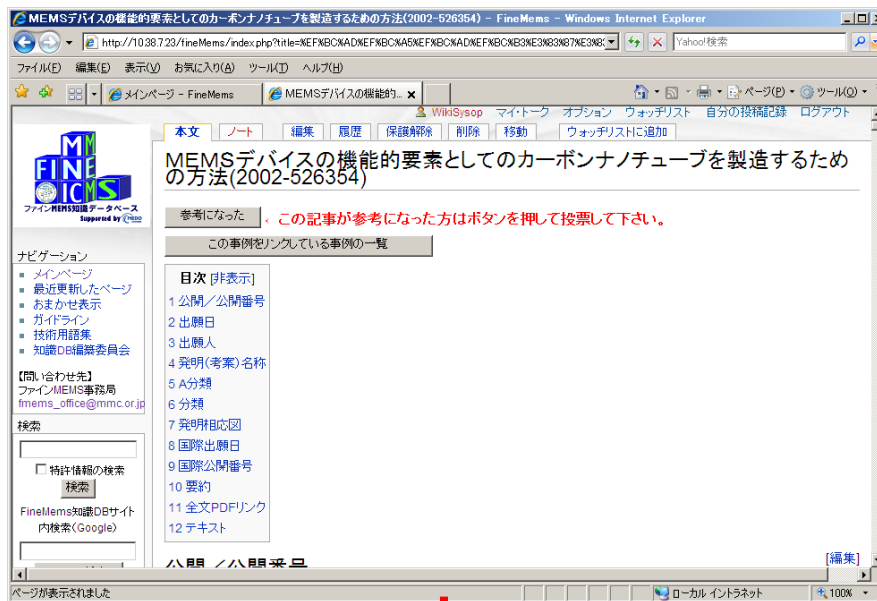


図 7-6 日本語検索実行の画面表示例

また、特許調査のデータベースは、図 7-1 のデータベースメイン画面の「特許調査」から、特許情報一覧の Web ページにリンクしており、公開年別一覧、分野別一覧、及び欧米特許分析資料集の閲覧を可能とした (図 4 参照)。図 7-7 には、特許データの登録例を示す。





スクロールして画面下方へ

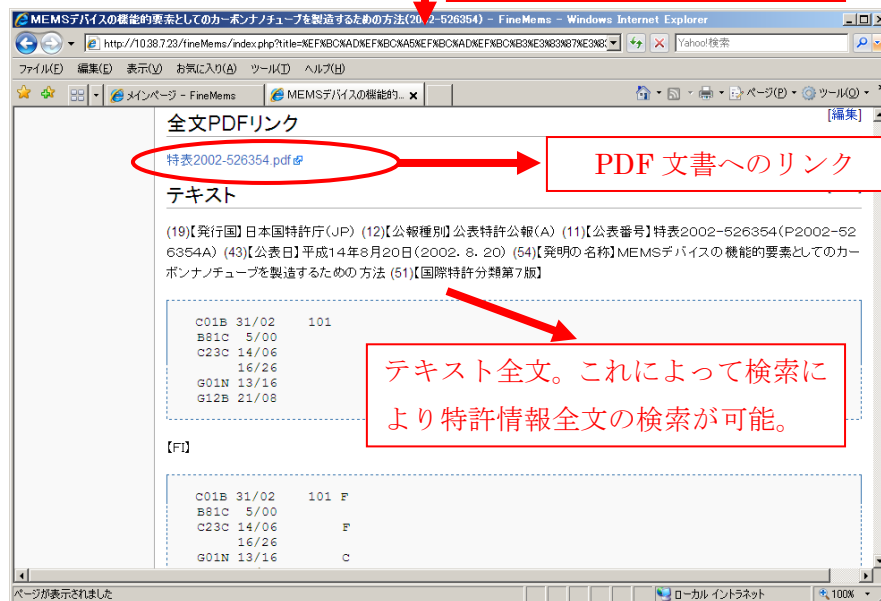


図 7-7 特許データの登録例

### (3) Web上の一般公開に向けたガイドライン作成および一般公開用システムの構築と運用

データベースの著作権、個人情報保護等についての弁護士見解を踏まえ、公開用データベースに掲載する利用ガイドライン、利用規約を作成し（弁護士による条文精査も行き）、実装を行った。図 8-1 に実装する利用ガイドラインの画面表示、図 8-2 には利用規約の画面表示を示す。



図 8-1 公開用知識データベースに実装する利用ガイドラインの画面表示



図 8-2 公開用知識データベースに実装する利用規約の画面表示

次に、一般公開用メインページ（図8-3）と一般公開用システムの機能を以下に示す。



図8-3 公開用知識データベースのメインページ

一般公開用のデータベースでは、上述の利用規約・ガイドライン以外に、一般ユーザーにとって有用な機能、表示として、MEMSに関する略語等の技術用語を閲覧・登録できる技術用語集の実装、グーグル検索ボックスの配置、ファインMEMS知識データベースの概要紹介の表示、新規登録事例の表示、お知らせの表示、ファインMEMSカテゴリ別のランキングの表示、ファイン知識DB委員会のメンバーが選んだキーワードによるランキングの表示等を追加した。さらに、一般ユーザーがデータベースの閲覧・編集ユーザーになるための登録機能を実装した。図8-4に技術用語集の表示画面を示し、図8-5には、ユーザー登録のアカウント名とパスワード作成画面（利用規約および利用ガイドラインの承認を求める画面構成）を示す。

また、一般公開用知識データベースの運用については、ファインMEMS知識DB委員会を通じて検討し、知識データ収集用システムと同様に、プロジェクト終了後も継続してMMC内にサーバを置き、MMCが管理者となって、サーバの管理、データのバックアップ、著作権侵害等、法律に抵触する内容の監視、一般ユーザーの登録アカウントの管理、各種問い合わせ対応等を行うことを決めた。



図 8 - 4 技術用語集の表示画面

### 閲覧アカウント作成

すでにアカウントをお持ちの場合: [ログイン](#)

**利用規約**

ユーザ登録した時点で、本利用規約に同意したとみなします。

利用規約を承認します

アカウント名:

パスワード:

パスワード再入力:

メールアドレス:

セッションを越えてパスワードを記憶する

アンケート: A: 業種

メーカー

MEMS・半導体・電子部品製造  
 MEMS製造装置・検査装置

図 8 - 5 ユーザ登録のアカウント作成画面

#### (4) MemsONE 知識データベースへのデータ変換

データベースの表示ソフトウェア（ファインMEMS システム：MediaWiki、MemsONE システム：MemsONE 独自のソフトウェア）およびデータ入力形式が異なるため、データ変換ツールを作成し、ファインMEMS 知識データ（全 1557 件）の MemsONE 知識データへの変換を実施した。

MemsONE 知識データベースではデータの入力を XML 形式（Extensible Markup Language 形式）のデータファイルから入力することになっているため、その XML 形式のデータファイルにファイン MEMS の知識データを変換して入力する必要がある。以下に変換プロセスと図 9-1 にフローを示す。

##### ① 変換スクリプトの作成

ファイン MEMS のテンプレートの項目に従って MemsONE 知識データベース入力用 XML ファイルを作成する変換スクリプトを作成した。（MemsONE 知識データベース入力用 XML ファイルを作成するため、ファイン MEMS 知識データベースでは知識データの入力用のテンプレートの項目を MemsONE 知識データベースの入力用 XML 形式の項目と一致させてある（図 9-2）。）

##### ② MemsONE 入力用 XML ファイルの作成

作成したスクリプトを用いて、ファイン MEMS 知識データから MemsONE 知識データ入力用 XML ファイルを作成する。

##### ③ MemsONE 知識データベースへの入力

MemsONE 知識データ入力用 XML ファイルを使って MemsONE 知識データベースへ知識データを入力する。

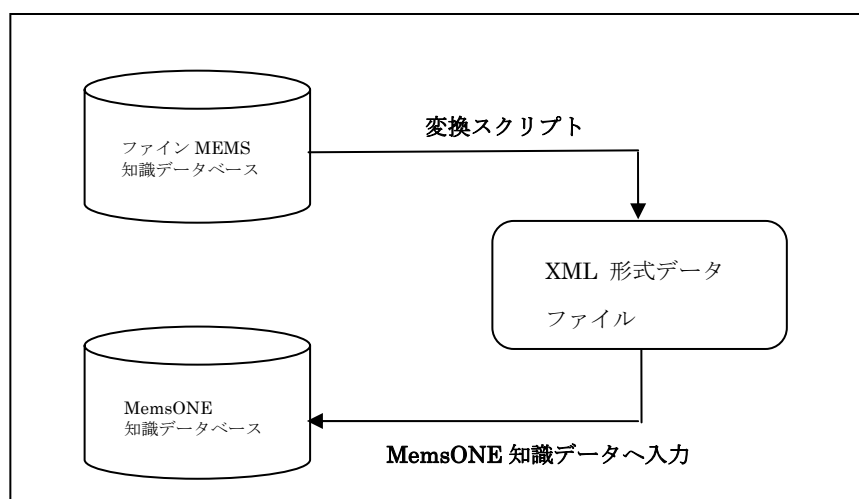
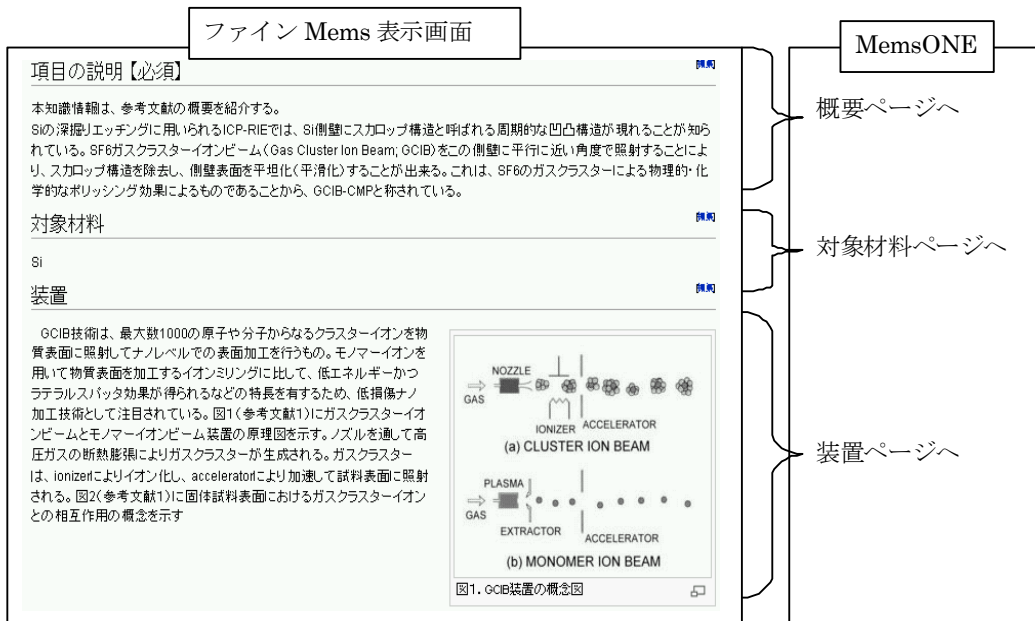


図 9-1 MemsONE 知識データベースへの変換



「X線二重露光法によるPMMA3次元加工技術」をサンプルとしてMediaWikiを用いたWebベースのファインMEMS知識データからMemsONE知識データに変換した結果を図9-3に示す。



図9-3(a) ファインMEMS知識データベースの表示例

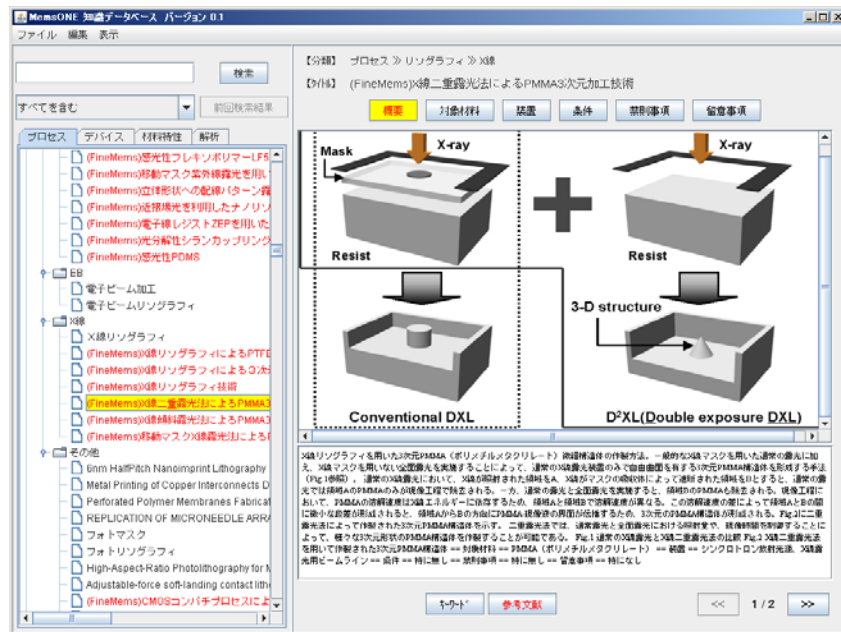


図 9 - 3 (b) MemosONE 知識データベースへ変換後の表示例

#### ②-4 プロジェクトの推進並びに本開発事業の運営管理支援

高集積・複合MEMS製造技術開発プロジェクトの参画事業者の研究者、再委託大学の研究者、および有識者から成る「高集積・複合MEMS知識データベース委員会（委員長 下山勲 東京大学教授、副委員長 藤田博之 東京大学教授、副委員長 三原孝士 オリンパス株式会社、副委員長 入江康郎 みずほ情報総研株式会社、委員 20名）」（以下「ファインMEMS知識DB委員会」という）を設置し、知識データの収集・整理、データベースシステムの仕様・機能、及び公開用データベースの運営方針・普及活動等について広範な検討を行った。平成18年度は、9月、12月、2月に計3回、平成19年度は、4月、6月、9月、10月、12月、2月に計6回、平成20年度も、前年と同様に、4月、6月、9月、11月、12月、3月に計6回開催した。また、本開発プロジェクトの参画事業者の研究開発責任者クラスから成る「ファインMEMSプロジェクト推進連絡会」（座長 下山勲 東京大学教授、副座長 杉山進 立命館大学教授、委員 15名（平成18年度）、16名（平成19～20年度））を設置し、研究項目別の進捗状況の把握、研究項目間の調整、研究開発成果の普及活動等に関わる運営支援をすることにより、本プロジェクト全体の円滑なる推進を図った。平成18年度は、7月、11月、2月の計3回、平成19年度は、6月、8月、11月、2月に計4、平成20年度は、5月、8月、12月、2月に4回開催した。



## 1-2 目標に照らした達成状況

ファインMEMSプロジェクトの研究開発項目にかかわる研究成果（研究データ、科学的知見、および文献情報）を、三年間合計で1000件以上収集し、体系的にデータベース化するとともに、収集した知識データをMEMS用設計解析支援システム(MemsONE)の知識データベースに付加することを目標とした。本研究開発では、インターネットを通じて複数のユーザが自由記述・閲覧可能な Web ブラウザ/MediaWiki システムをデータ蓄積サーバ（MMC内）に実装し、さらに知識データの体系的格納を可能に、かつ支援できるデータベースのシステム、入力・表示・検索機能を開発することで、知識データの蓄積及びデータベースシステムの構築を行った。このシステムを用いて、ファインMEMSプロジェクトのカテゴリおよび MemsONE のカテゴリで分類し、目標をはるかに上回る1557件の知識データをデータベース化することができた。また、ファインMEMSの知識データは、データ変換ツールの開発により、MemsONE システムの知識データとして変換を完了した。

## 2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

### 2-1 研究発表・講演

[1]久保田 雅則・三田 吉郎・杉山 正和, 「異方性・等方性を組み合わせたシリコン深掘りエッチングの形状へのアスペクト比の効果」, 化学工学会第 40 回秋季大会, T218, 2008 年 9 月 25 日, 東北大学川内キャンパス

[2]藤田博之「MEMS 設計解析ソフトウェアの必要性」第 1 2 回マイクロ波シミュレータ ワークショップ (電子情報通信学会マイクロ波シミュレータ時限研究専門委員会主催) 平成 1 8 年 9 月 1 日神奈川大学横浜キャンパス

[3] Hiroyuki Fujita, “More than Moore and Heterogeneous Systems Integration” Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Research and Education of Nanotechnology, Tokyo, Japan (2008, 10/27)

[4]Bassam Saadany, Tarik Bourouina, Maurine Malak, Masanori Kubota, Yoshio Mita, and Dhaa Khalil, “A Miniature Michelson Interferometer using Vertical Bragg Mirrors on SOI”, IEEE/LEOS International Conference On Optical MEMS and Their Applications (OMEMS 2006), August 20-24, Montana, USA, pp. 50-51 (2006.08)

[5]Bassam Saadany, Maurine Malak, Frederic Marty, Yoshio Mita, Dhaa Khalil, and Tarik Bourouina, “Electrostatically-tuned Optical Filter Based on Silicon Bragg Reflectors”, IEEE/LEOS International Conference On Optical MEMS and Their Applications (OMEMS 2006), August 20-24, Montana, USA, pp. 86-87 (2006.08)

[6]Bassam Saadany, Dhaa Khalil, Maurine Malak, Masanori Kubota, Frederic Marty, Yoshio Mita, and Tarik Bourouina, “An all Silicon Micro-machined Add-Drop Optical Filter”, IEEE/LEOS International Conference On Optical MEMS and Their Applications

- (OMEMS 2006), August 20–24, Montana, USA, pp. 94–95 (2006.08)
- [7] Kenichiro Hirose, Yoshio Mita, Masanori Kubota, and Tadashi Shibata, "Deep-Trench Vertical Si Photodiode Towards Active-Device Integrated OMEMS", IEEE/LEOS International Conference On Optical MEMS and Their Applications (OMEMS 2006), August 20–24, Montana, USA, pp. 191–192 (2006.8).
- [8] Kenichiro Hirose, Yoshio Mita, and Tadashi Shibata, "Self-Patterning Metal Deposition on Deep Three-Dimensional MicroStructures for Vertically Buried Inductors", Micromechanics and Microengineering Europe 2006 (MME '06), Southampton, UK, September 3–5, pp.85–88 (2006.09).
- [9] Yoshio MITA, Kenichiro Hirose, Masanori Kubota, et Tadashi Shibata, "Integration du Dispositif Electronique Actif en MicroStructure Tri-Dimensionnel (in French)", Journee Scientifique Francophone 2006, Takeda Hall, 1 Decembre, Tokyo (2006.12)
- [10] Sakda Srisomrun, Yoshio Mita, Kazunori Hoshino, Masakazu Sugiyama, and Tadashi Shibata, "'Silicon on PDMS': SOI Extra Thin Active Layer Transferred to Organic Film for Flexible Applications", in Proc. of IEEE International Conference on MicroElectroMechanical Systems (MEMS 2007), Kobe, January 22–25, pp.263–266 (2007.01).
- [11] Caillard, B. Pellet, C.; Touboul, A.; Mita, Y.; Fujita, H., Electrical overstress/electrostatic discharges (EOS/ESD) specificities in MEMS: outline of a protection strategy, Proceedings of the 14th International Symposium on the Physical & Failure Analysis of Integrated Circuits IPFA 2007, July 2007, pp. 107–111 (2007.7)
- [12] Kenichiro Hirose, Yoshio Mita, and Shuichi Sakai, "Polarization-Transmissive Thin-Film Solar Cell with Photodiode Nanowires", IEEE/LEOS International Conference On Optical MEMS and Their Applications (OMEMS 2007), August 20–24, Taiwan, pp.29–30
- [13] Yohei Hamaguchi, Masanori Kubota, Jean-Bernard Pourciel and Yoshio Mita, "High-Aspect-Ratio Vertical Surface Profiler using Sensitive Displacement Detection by Optomechanical Probe", in Proc. of IEEE International Conference on MicroElectroMechanical Systems (MEMS 2007), Tuscon AZ, USA, January 14–17, pp.884–887 (2008.01).
- [14] Yifan Li, Yoshio Mita, Les Haworth, William Parkes, Masanori Kubota, and Anthony Walton, "Test Structure for Characterising Low Voltage Coplanar EWOD System", in Proc. of IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures(ICMTS), Edinburgh, UK, Mar. 24–27, pp.80–85 (2008.03).
- [15] Yoshiaki Imai, Yoshio Mita, Kenichiro Hirose, Masanori Kubota and Tadashi Shibata, "Surface Corrugated P-N Junction on Deep Submicron Trenches for Polarization Detection With Improved Efficiency", Asia-Pacific Conference of Transducers (APCOT),

Taiwan pp. (2008.06).

[16]Yoshio Mita, Yifan Li, Masanori Kubota, William Parkes, Leslie I. Haworth, Brian W. Flynn, Jonathan G. Terry, T.B. Tang, Alec Ruthven, Stewart Smith, and Anthony J. Walton, "Wireless Driven EWOD Technology for MEMS Pond Skater Application", 38th European Solid-State DEvice Research Conference (ESSDERC 2008), Edinburgh, UK, Sep. 16-19, pp.306-309 (2008.09)

[17]Y.Mita, L.Bourauoi et M.Parent, "Vision stéréo pour la détection d'obstacles vulnérables: méthode de <<recherche du voisin>> pour l'amélioration de la précision de mise en correspondance", Journée Francophone de la Recherche, 28 Novembre 2008, IIS Univ. Tokyo, Japon (2008.11).

[18]金俊亨、久保田雅則、肥後昭男、三田吉郎、「柔らかいシリコンマイクロ構造とその神経信号解析への応用」、応用物理学会第二回集積化 MEMS 研究会、2008 年 11 月 21、東京大学 (2008.11)

[19]T. Suga, Room Temperature Wafer Bonding for MEMS (invited), 2<sup>nd</sup> International Workshop on Wafer Bonding for MEMS Technologies, 9 -11<sup>th</sup> April, Halle/ Saale, Germany (2006)

[20]T. Suga, Current status and future outlook of SAB technology, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

[21]Akitsu Shigetou, Toshihiro Itoh, Tadatomo Suga, Bumpless Interconnect of Cu Electrodes in Millions-Pins Level, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

[22]Zhonghua Xu, Tadatomo Suga, Low Temperature Surface Activated Flip Chip Technique on Cu-Cu Interconnection of Chip-On-Flex System, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

[23]Wang Yinghui, Xu Zhonghua, Tadatomo Suga, Effect of flattening of bonded surfaces on low temperature bonding of Au and solder bumps, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

[24]Hironao Okayama, Kohji Nanbu, Kinji Saijo, Tadatomo Suga, Application of SAB on Cu/LCP laminate, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

[25] Matiar R Howlader, Tadatomo Suga, SAB Method for Bonding of Ionic Wafers at Room Temperature, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

[26]Hironori Itoh, Matiar R Howlader, Tadatomo Suga, Room Temperature Bonding of Sapphire to Silicon and Silicon Oxide, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)

- [27]Hironao Okada, Toshihiro Itoh, Tadatomo Suga, Application of SAB on MEMS packaging, International Conference on Electronics Packaging (ICEP) 21th. April, Tokyo (2006)
- [28]Matiar R. Howalder, Tadatomo Suga, Norihiro Ito, Moon J. Kim, Jamal Deen, Peter Mascher, A Novel Method for Bonding of Ionic Wafers, IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC), San Diego, California, May 30 -June 2 (2006).
- [29]Tadatomo Suga, Hiroshi Ozaki and Hayato Ozawa, Behavior of Surface Oxide and Intermetallic Compounds in Interconnections of Micro Sn-Ag Solder Bumps, IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC), San Diego, California, May 30 -June 2 (2006).
- [30]Akitsu Shigetou, Toshihiro Itoh, Tadatomo Suga, Bumpless Interconnect of Cu Electrodes in Millions-Pins Level, IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC), San Diego, California, May 30 -June 2 (2006).
- [31]T. Suga, H. Asai (ed.), Proceedings IEEE Polytronic, 6th International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, Odaiba, Tokyo, January 16-18 (2007)
- [32]三木則尚、“微細加工が拓く未来”、第122回産学交流サロン（横浜市）（2007年12月14日）
- [33]T. Ninomiya, K. Osawa, Y. Okayama, Y. Matsumoto and N. Miki, “MEMS Tactile Display with Hydraulic Displacement Amplification Mechanism,” Proceeding of MEMS2009 (22<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Microelectromechanical Systems), pp.467-470, Sorrento, Italy, January 2009.

## 2-2 文献

- [1]EDIN SARAJLIC, DOMINIQUE COLLARD, HIROSHI TOSHIYOSHI, HIROYUKI FUJITA, Design and Modeling of Compliant Mechanism for Mechanical Digital-to-Analog Conversion of Displacement, IEEJ Trans., vol. 2, pp. 357-364 (2007).
- [2]H. Miura, J. Sone, D. Collard, C. Yamahata and H. Fujita, FEM analysis of Mechanical Characteristics of Nano Tweezers with MemS ONE, IEEJ Trans. on Sensors and Micromachines, vol. 128, pp.252-256, (2008).
- [3]藤田博之「MEMSによる異機能集積化プロセス」第2回集積化MEMS技術研究会会議録 p.8 (2008, 11/21)
- [4]久保田雅則, 三田吉郎, マーティン・フレデリック, ブルイナ・タリク, 柴田直, 「ナノ開口・大開口のエッチングを可能とする輪郭描画法」, 電気学会センサ・マイクロマシン部門誌, Volume 126-E Number 6 (2006.6).
- [5]Yamato Fukuta, Yves Andre Chapuis, Yoshio Mita, and Hiroyuki Fujita, “Design, fabrication, and control of MEMS-based actuator arrays for air-flow distributed

- micromanipulation”, IEEE Journal of Micro-Electro-Mechanical Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 212-226, (2006.08).
- [6] Bassam Saadany, Maurine Malak, Masanori Kubota, Frederic Marty, Yoshio Mita, Diaa Khalil, and Tarik Bourouina, “Free-Space Tunable and Drop Optical Filters Using Vertical Bragg Mirrors on Silicon”, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.12, No.6, Nov/Dec 2006, pp.1480-1488 (2006.11).
- [7] Yoshio Mita, Kenichiro Hirose, Masanori Kubota, and Tadashi Shibata, “Deep-Trench Vertical Si Photodiodes for Improved Efficiency and Crosstalk”, IEEE Journal of Selected Topics on Quantum Electronics, Vol. 13, No.2, March/April (2007.3).
- [8] Kenichiro Hirose, Fumitaka Shiraishi, and Yoshio Mita, “Simultaneous vertical and horizontal as-deposition self-patterning method on deep three-dimensional micro structures applied to vertically buried inductors”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 17, No.7, pp. S68-S76 (2007.07) .
- [9] Y.-A. Chapuis, Lingfei Zhou, Yamato Fukuta, Yoshio Mita, and Hiroyuki Fujita, “FPGA-based decentralized control of arrayed MEMS for microrobotic application”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, v 54, n 4, Aug. 2007, p 1926-36 (2007.08)
- [10] Kenichiro Hirose, Yoshio Mita, Yoshiaki Imai, Frédéric Marty, Tarik Bourouina, Kunihiro Asada, Shuichi Sakai, Tadashi Kawazoe and Motoichi Ohtsu, “Polarization transmissive photovoltaic film device consisting of Si photodiode wire-grid”, J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 10 044014 (2008.04).
- [11] Ryoichi Ohigashi, Katsunori Tsuchiya, Yoshio Mita, and Hiroyuki Fujita, “Electric Ejection of Viscous Inks From MEMS Capillary Array Head for Direct Drawing of Fine Patterns”, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 17, No.2, pp.272-277 (2008.04)
- [12] Yifan Li, Yoshio Mita, Leslie I. Haworth, William Parkes, Masanori Kubota, Anthony J. Walton, “Test Structure for Characterizing Low Voltage Coplanar EWOD System”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions, Vol. 22, No. 1, pp. 88-95 (2009.02).
- [13] 松山知弘、三田吉郎、久保田雅則、柴田直、藤田博之（東京大学）「静電駆動型大面積 MEMS における消費電力」、電気学会マイクロマシン・センサシステム研究会、東北大学、2008年6月12、13日（MSS-08-20）pp. 95-100（2008.06）
- [14] Y.Mita, “FOREWORD, Special Section on Microelectronic Test Structures (ICMTS2007)”, IEICE Trans. Volume E91-C No.8, pp.1313-1314 (2008.08)
- [15] Y.Mita, “Special Section on the IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 21, No. 4, pp. 494-495 (2008.11)

- [16]岡田浩尚、伊藤寿浩、高木秀樹、前田龍太郎、須賀唯知, Si/Si。Si/Cu の Ar 高速原子ビームによる表面活性化常温封止接合, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J88C No. 11, (2005) 913-919
- [17] H. Okada, T. Itoh and T. Suga, The Influence of Surface Profile on Leakage in Room Temperature Seal-Bonding, The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and microsystems (Transducers '07 & Eurosensors XXI), Lyon, FRANCE, June 10-14 (2007) 339-342
- [18]H. Okada, T. Itoh, J. Frömel, T. Gessner and T. Suga, ROOM TEMPERATURE VACUUM SEALING USING SURFACED ACTIVATED BONDING WITH AU THIN FILMS, Transducers'05, SEOUL, KOREA, June 5-9 (2005) 932-935
- [19]岡田浩尚、伊藤寿浩、須賀唯知, Ar 高速原子ビームを用いた表面活性化法による常温封止接合のための Au 薄膜封止構造の検討, エレクトロニクス実装学会, 東京, March 22-24 (2006) 13-14
- [20]C. Wang and T. Suga, Measurement of Alignment Accuracy for Wafer Bonding by Moire Method, Japanese Journal of Applied Physics, 46(4B) (2007) 1989-1993
- [21]C. Wang, E. Higurashi and T. Suga, Silicon Wafer Bonding by Modified Surface Activated Bonding Methods, Polytronic 2007, Tokyo, Japan, Jan. 15-18 (2007) 36-40
- [22]C. Wang, E. Higurashi and T. Suga, Room Temperature Wafer Bonding of Silicon and Silicon Dioxide by Sequential Plasma Activation, International Conference on Electronics Packaging 2007 (ICEP2007) Tokyo, Japan, April 18-20 (2007) 33-38
- [23]C. Wang, E. Higurashi and T. Suga Room Temperature Si/Si Wafer Direct Bonding in Air, 8th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT2007), Shanghai, China, Aug. 14-17 (2007) 552-557
- [24]C. Wang, E. Higurashi and T. Suga, Void-free Room Temperature Silicon Wafer Direct Bonding by Sequential Plasma Activated Process, 2007International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2007), Tsukuba, Japan, Sep. 18-21 (2007) 404-405
- [25]T. Yamashita, T. Itoh, and T. Suga, Fritting Contact Using SnAu Probe, 53rd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts Pittsburgh, PA, September 17-19 (2007) 151-155
- [26]E. Higurashi, and T. Suga Low temperature Bonding for Integrated Optical Microsystems, 1st International IEEE Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration, Hongo, Japan, November 8-9 (2007) pp. 89-104
- [27]谷山慎悟, 王英輝, 王晨曦, 須賀唯知, 金薄膜を介したシリコンウエハ低温接合, 22nd Japan Institute of Electronics Packaging Conference (JIEP2008), Tokyo, Japan, Mar. 17-19, (2008), pp. 237-238
- [28]C. Wang, E. Higurashi and T. Suga, Void-free Room Temperature Silicon Wafer Direct

Bonding Using Sequential Plasma Activation , Japanese Journal of Applied Physics , 47(4B), (2008), accept

[29]Y. H. Wang and T. Suga, 20-um-Pitch Au Micro-bump Interconnection at Room Temperature in Ambient Air , the 58th Electronic Components and Technology Conference (ECTC2008), Florida, USA, May 27-30, (2008), pp.944-949

[30]C. Wang, S. Taniyama, Y-H. Wang and T. Suga, High-Precision Alignment for Low Temperature Wafer Bonding, ECS Transactions , Honolulu, Hawaii, USA, Oct. 14-16, 16(8), (2008), 539-549

[31]C. Wang and T. Suga, High-Precision Alignment for Wafer Bonding Using Moire Method, International Conference on Electronics Packaging (2008) (ICEP2008), Tokyo, Japan, Jun. 10-12, (2008), pp.21-25.

[32]Y. H. Wang and T. Suga, Influence of Surface Contamination on Low-Temperature Bonding of 20-um-Pitch Au Micro-Bumps, International Conference on Electronics Packaging (ICEP2008) , Tokyo, Japan, Jun. 10-12, (2008), pp.16-20.

[33]S. Taniyama, Y. H. Wang, M. Fujino and T. Suga, Room Temperature Wafer Bonding Using Surface Activated Bonding Method, IEEE 9th VLSI Packaging Workshop in Japan (VPWJ2008), Kyoto, Japan, Dec. 1-2, (2008), pp.141-144.

[34]Y. H. Wang and T. Suga, The Chip-on-Board Bonding Using Non-Conductive Film and Metallic Bumps by the Surface Activated Bonding Method, IEEE 9th VLSI Packaging Workshop in Japan (VPWJ2008), Kyoto, Japan, Dec. 1-2, (2008), pp.91-94

[35]谷山慎悟, 王英輝, 須賀唯知, 金属薄膜を介した Si ウエハ低温接合, 第23回エレクトロニクス実装学会, 関東学院大学, Mar. 11-13, (2009)

[36]C. Wang, S. Taniyama, Y-H. Wang and T. Suga, High-Precision Alignment for Low Temperature Wafer Bonding, Journal of Electrochemical Society, 156(3), (2009), H197-201

## 2-3 特許等

なし。

## 2-4 成果普及活動 (プレス発表等)

### ①展示会による普及活動

第17回マイクロマシン展 (2006年11月7日~9日、東京国際フォーラム)

第18回マイクロマシン展 (2007年7月25日~27日、東京ビックサイト)

国際ナノテクノロジー総合展 nano tech2008 (2008年2月13日~15日、東京ビックサイト)

第19回マイクロマシン展 (2008年7月30日~8月1日、東京ビックサイト)

“ナノ・マイクロ加工が可能にする新技術”、慶應テクノモール（東京国際フォーラム）（2007年12月5日）

“人に役立つナノ・マイクロシステム”、慶應テクノモール（東京国際フォーラム）（2008年12月19日）

②ファイン MEMS プロジェクト中間成果発表会の開催（2007年7月27日、2008年7月31日、東京ビッグサイト）

③ファイン MEMS ホームページによる広報活動

財団法人マイクロマシンセンターのホームページ内に開設した「ファイン MEMS」のホームページを漸次更新し、当プロジェクトの活動内容を一般公開した。

契約管理番号	06990532-0
--------	------------