マイクロメカニズム研究専門委員会 経過と現状*

林 輝**

Progress and the Present State of the Technical Committee on Micro-mechanisms / Teru HAYASHI

Key words: micromechanism, creation, size effect, millimeter-mechanism, miniaturizing, micro-actuator, contest

1. はじめに

1972年ころ、わが国の造船不況に加えて、大形船舶の動力源が蒸気タービンからディーゼルエンジンに移行したため筆者らがそれまで取り組んできた船用大形歯車の研究が不要になり、別の研究対象を探さねばいけなくなった。

そこで、歯車などの機械要素の付加価値を検討してみたところ、小さなものほど付加価値一単位質量当たりの価格が高いことに気付き、微小な歯車やそれを必要とするであろう微小な機械を研究対象とすることを考えた。ちょうどそのころ、斬新なバイオメカニズム分野が、故・加藤一郎先生方により華々しく始められた時であり、それにあやかって、この微小な機械分野をマイクロメカニズムと呼ぶこととした。何から着手したらよいのか、研究課題を探る手探りの研究を始めた。1980年代にIBMやAT&Tからシリコン基板上に微小な機械的な要素を作りあげる研究が発表され、1990年初めにはわが国でも微小な機械の開発を大形プロジェクトとして取り上げられるまでになった。精密工学会内にも微小な機械に関する幾つかの研究グループが生まれた。筆者らもそのグループの一つ、現在は「マイクロメカニズム研究専門委員会」を設置させて頂き、志を同じくする人たちと、創り、試し、考え、学び、通算8年目になる。この委員会の概要を紹介させていただく。

2. 委員会設置までの状況

マイクロメカニズムの研究は、まず何をしたら良いであろうか。その糸口を見つけるために、それらしい物を作ってみた。理論的には幾らでも小さく作れそうな、原理の違った3種類の「走る機械のモデル」を作って動かしてみた。それを見ていると、どの原理が微小化したとき最も走行性能が良くなるか比較したくなる。そのために、静電気力、粘性力、慣性力など各種の力の基礎式の寸法効果を検討・整理し、その結果を基に、それらのモデルを微小化した時の走行性能を比較したら最も微小化に適したモデルを見出すことができた。では、これらのモデルの走行速度はどのように決めたらよいであろうか。そこで、自然界の生物の長さと走行速度を調査してみた。その結果、興味深い法則が見つかった。その法則によれば、人工の機械まで含めて、水中を泳ぐ物の速度は毎秒自分の長さだけ走る、地表を走行する物は毎秒自分の長さの10倍、空中を飛ぶものは毎秒自分の長さ(mm)の平方根の1000倍走れば良いことになる。ただしこの関係は座標軸を指数で表したときに見られる非常に大らかな法則である。このように、物を作って試してみると次々にその物に関する研究課題が湧き出て来るのを実感した。

マイクロメカニズムを創ろうとしてまず突き当たる壁はマイクロモータ、広義にはマイクロアクチュエータが無いことと、それを動かすためのマイクロバッテリーや外部からの電力供給方法などの実用的なエネルギー源の問題がある。次は、必要な運動を得るための機構要素の問題であり、これらすべての開発から始めなければいけない。そのためには、現用の各種機構要素を微小化したときの性能の実用性の検討と、それを参考にした設計、製作技術が要る。実用化に近づくと、マイクロメカニズムを直接見るこ

* 原稿受付 平成10年4月9日

** 名誉会員 桐蔭横浜大学工学部(横浜市青葉区鉄町1614)

1956年東京工業大学機械工学コース卒、工学博士。専門は機械要素、機械計測。研究内容は歯車の精度と運転性能、柔軟介護機械、マイクロメカニズムほか、著書「マイクロメカニズムと材料」(監修)、CMC

とができない領域で働かすことになろう。そこでは、マイクロメカニズムの周辺の状況検出、位置・姿勢検出用のマイクロセンサが必要になり、検出結果を操縦に取り込むためのマイクロ領域の制御システムが必要になる。それらを実現するには、そこに応用されているすべての物理、化学現象の微小化特性—寸法効果—の解明が必要になる。

将来、マイクロメカニズムの対象となる微小領域は、自然界の微小生物から類推すると、現在の最も小さい腕時計あるいは小さな昆虫ぐらいのミリメートルオーダーからシリコン基板上の振動子あるいはゾウリムシぐらいのマイクロメートルオーダー、さらにバクテリアのモータや動く最小の生物と思われる酵素などのナノメートルオーダーと 10^6 もの広範囲にわたるため、動く原理も、構造も、製作方法も大きさの程度により違ってこよう。

今日、マイクロメートルオーダーのメカニズムの研究は半導体加工技術応用分野で盛んに行われている。ナノメートルオーダーのメカニズムについては生物物理学、分子生物学やナノテクノロジー領域の将来の研究課題であろう。今、役立ちそうで、われわれの身近にあり、すぐ着手できるのはミリメートルオーダーのメカニズムである。

筆者は個人的に、あるいは、東工大の研究会で「ミリメートルオーダーのもの創りと、これを抛り所とした、各種工学技術の微小化特性の検討」を進めてきた。

3. 本専門委員会設置までの経過

3.1 マイクロメカニズムを精密工学技術で実現するための調査研究分科会（略称、MM 分科会）

以上のような状況のとき、精密工学会事業部会から勧めがあり、将来の分野開拓の目的で「マイクロメカニズムを精密工学技術で実現するための調査研究分科会（MM 分科会）」が1990年4月から1993年4月まで主査：林 輝（桐蔭横浜大）、副主査：佐藤一雄（名古屋大）、幹事：堀江三喜男（東工大）、副幹事：平塚健一（千葉工大）とし、29名の委員の参加で設置された。

ここでは、2,3名ずつの委員が分担して、次の項目の資料を集め、微小化領域の問題の調査・検討を行った。

- (1) アクチュエータ（エネルギー源）
- (2) 軸・軸受・案内
- (3) 変速・送り
- (4) 機構・システム
- (5) 製作（加工・組立）
- (6) 測定・センシング
- (7) 制御・テレメトリー
- (8) 材料
- (9) その他

ほぼ毎月1回、総計26回の会合が開かれ、各委員による研究結果の報告や外部講師による116テーマ（内、外部講師25）の講演を聴き、各種環境用のマイクロメカニズ

ムおよび要素の特性、製作方法等の具体的問題からマイクロメカニズムとはいかなるものか、これを実現するにはいかなる問題があるのか等の検討が行われた。この検討結果の中間的報告は、講演、論文資料とともに640ページ余りの「マイクロメカニズムを精密工学技術で実現するための調査研究分科会成果報告書」にまとめられた。この報告書には貴重な資料も含まれており、時々使わせてもらっている。

3.2 マイクロメカニズムの製作に関する研究協力分科会（略称、3M 分科会）

他方、上記の分科会と重ねて、精密工学会研究協力部会からの勧めで、企業の研究開発の援助を目的とした「マイクロメカニズムの製作に関する研究協力分科会」が主査：林輝（桐蔭横浜大）、副主査：篠山伸弥（ニコソ）、板生清（東大）、幹事：大平文和（NTT）、副幹事：吉田和弘（東工大）とし、30～40名の委員の参加で1990年9月から1993年9月までの期間に設置された。

この分科会は、“マイクロメカニズムを実現するための具体的な研究課題を見出し、実施するには、多くの問題を持つ「自走マイクロメカニズムの試作」から始めるのが効果的である”との方針に沿って、まず、大きさ10mm以下の走行するモデルの試作を中心に活動を行った。これを実施するには、企業あるいは大学で、自分で容易に物作りができる立場にいる若手の人材が不可欠である。また、企業の新製品に直結するような「もの創り」では多数の企業からの委員の協力体制はあり得ない。そこで、試作するモデルは直ちに役立つようなものを避けて用途も不明な自由な物とし、機種を、(a)管内走行-、(b)平面走行-、(c)壁面走行-、(d)空中走行-および、(e)水中走行-用のマイクロメカニズムと設定し、機種別のグループに分かれて様々なアイデアのモデル作りを行った。製作担当者は勤務時間後にかかなりの時間をとって微小で複雑なモデルの製作の作業をし、期待に満ちた毎回の分科会に持ち寄り、他の委員はこれにアイデアを加え、あるいは材料の提供をし、激励し、最盛期には2回程、合宿もするほど、非常に活発に活動した。その結果、各種のマイクロメカニズムのモデルが作られ、関係分野に大きなインパクトを与えた。図1は、この分科会に関係して作られたマイクロメカニズムの一部である。3M分科会のこれらの活動に対し、精密測定技術振興財団から1994年10月に「高城賞」が授賞された。

また、この間、1993年6月1～3日には、MM分科会と3M分科会が世話役となり、“First IFTtoMM International Micromechanism Symposium”が第9回TMM国際会議のSatellite Symposiumとして東工大で開催され、7か国から約100名の参加があり、30編の論文が発表された。全講演が1会場で行われ、時間も比較的ゆったりしていたため、友好的雰囲気の中で非常に活発な討論が行われた。

(a) 構造

(b) 走行原理

a. 空気袋みみず (管内)
(工大) b. 熱駆動尺とり虫 (管内)
(3M・渡辺多美男氏ほか) h. SMA 昆虫 (壁面)
(3M・稲垣英人氏) k. ピエゾジャンパー (空中)
(3M・大塚康弘氏) c. 鉄虫 1 号 (平面)
(コンテスト・佐竹彰氏) d. 山越二郎 Jr. (平面)
(コンテスト・鈴木誠氏) f. ムッシュー (平面)
(宮沢修氏) i. くわがた 1 号 (平面)
(3M・西川芳男氏) l. マイクロサブマリン (水中)
(3M・本間大氏ほか) e. PVDF ごきぶり (平面)
(工大) 寸法: 15×5×5mm, 速度: 2mm/h
溶液: Na₂SO₄ 0.01mol/l, 電圧: 5Vg. ゲル芋虫 (平面)
(工大) j. ラチェットキャタピラ (壁面)
(3M・小島秀芳氏) m. PVDF うなぎ (水中)
(工大)

図 1 分科会関係のマイクロメカニズム試作モデル

図2 The Ninth World Congress on the Theory of the Machines and Mechanisms での展示準備風景（本委員会設計，ミラノ工大製作の特製展示台4台を使用）

同年8月31日～9月4日にはThe Ninth World Congress on the Theory of the Machines and Mechanismsがミラノ工科大学で開かれた。ここに3M分科会が展示コーナを設け、分科会関係で試作したマイクロメカニズムの展示・実演，パネル展示，ビデオ上映を行った（図2）。これは注目を集め参加各国からの多数の入場者があり，その人たちから資料およびビデオフィルムの入手依頼を受けた。

精密工学会春季大会の恒例イベントである「マイクロメカニズムイベント（小さな³ロボットのコンテスト）」の実施も3M分科会が担当してきた。このイベントは中学，高校生の理科離れ防止対策の意図も込めて高校生以下の入場を歓迎し，電気通信大で行われた第7回イベントは地元テレビ局が取材・放映し，日本工大で開かれた第8回イベントでは小学生を対象とした小さなロボット製作教室が開かれ，予定の定員を越えた60名が参加したほどの盛況であった。これらも3M分科会の大きな成果である。

このMM分科会と3M分科会は予定の会期を終了し発展的に解散，統一されて1994年4月からは「マイクロメカニズム研究専門委員会」となり今日に至った。

4. マイクロメカニズム研究専門委員会とその活動状況

本専門委員会は委員長：林輝，副委員長：篠山伸弥，板生清，幹事：大平文和，堀江三喜男，副幹事：小藪国夫，平塚健一といずれも多忙な委員の負担軽減を考え，複数オフィサー制をとった。1998年3月現在，委員数は39名である。委員の一部は新規参加であるが，ほとんどはMM分科会と3M分科会から引き続きのメンバーである。ここでは月例の会合を東工大で開き，本年3月で52回目を迎えた。毎回2テーマずつ総計100テーマ余りの委員の研究報告と外部講師を招いての講演と熱心な討論が行われ，

そのあと委員間あるいは講師との自由な懇談，交流が行われた。ここで使われた資料については近々報告書としてまとめる予定である。

この数年間に各委員の企業内での役職も変わり，交代もあり，それに加えてわが国の企業の経営方針も大きく変わったため，委員会の雰囲気も変わってきた。委員会内では具体的もの創りよりも容易な，「将来のマイクロメカニズムの研究に役立ちそうな広範囲の知識の導入のための講演・検討結果の報告」に力点が置かれてきた。これに対して企業側は経費節減のため「すぐ役立つ技術に関するテーマ」を強く求めるようになった。このような事情で余儀なく退会する委員も現れ，委員会の運営方針の再検討を迫られている。

しかし，マイクロメカニズムの研究・開発はぜひとも続けて行かなければいけない。そのためには，委員会内は無論，外部からも認められる成果の得られる方針でなければいけない。それには，具体的なマイクロメカニズムのモデルを作って見せること，その設計，製作，測定の方法を示すことが最も効果的である。

その第1案は，テーマを決めた機械をモデルとし，その試作と微小化特性の解析を進めることである。本委員会委員の大多数は3M委員会で10mmを目指した各種の走行MMのモデル創り，動作，速度，出力の確認などを経験をしてきた。しかしそれは，従来形機械の微小化の第1段階であった。最も重要なマイクロメカニズムの微小化特性を検討するためには，基本モデルと縮小モデルを作り性能の比較で実証をしながら，そこで必要になる各種の工学的現象の寸法効果を解析していく第2段階の研究が必要であり，その結果からマイクロメカニズムの原理，設計，製作方法の体系化が進むはずである。

その第2案は，試作モデルを重要課題から選ぶことである。これには，実用的なマイクロアクチュエータとエネルギー源に関するものとなろう。微小化特性の検討などについては第1案で述べたことと同様である。

幸い，この運営方針の概要については委員会の賛同を得ている。近々の委員会で具体的方針は決まる。しかし，これを実行するには実行力と創造力にあふれた若手の委員のエネルギーが不可欠である。学生の力も大いに期待できる。学問的な面で必要な「マイクロメカニズム領域の理論の体系化」も，この「もの創り」を基にまとめていけば，空想の議論によるよりずっと実的なものとなろう。本委員会はこれから，魅力ある試作モデルを設定し，全委員のアイデアを取り入れながら試作を行い，直面する個々の問題を工学的方法で解決し整理をしてゆけば良い。

また，東京中心の本委員会の活動を全国的に，広い層に広げることも重要と思う。そのためのコンピュータネットワークの利用，ランチ活動，学生の参加のシステムなども検討してゆきたい。ちなみに，中国をはじめ海外数か国のマイクロメカニズム研究会からも参加したいとの打診を

受けている。

本年3月20日の精密工学会春季大会の定例イベント「マイクロメカニズムイベント（小さな³ロボットコンテスト）」の実施については、担当委員の非常に熱心な努力に加えて、新たな若手委員の企画参加と会場の明治大学の絶大なご協力もあって、予想をはるかに越えた50余台の参加があり大いに盛り上がった。今回は学生の参加が多く、約半数を占め、非常に熱心であった。ものを創って示すことがいかに説得力があり重要かが再確認され、本委員会の今後の方針を考えるために大変参考になった。

5. お わ り に

マイクロメカニズムは総合的領域にわたる、だれでも参加できる新分野である。例えば、自分のこれまでの専門の仕事を続けながら、その一時を専門を微小化したときの状態を検討に割いてもらえればよい。当面は現在の大きさに続く穏やかな微小化から始め、先は分子の領域までに至る夢のある広大な領域である。熱意と行動力ある、もの創り

の好きな会員の方々、ぜひ、本委員会へ参加して下さり一緒に未知の領域への探検をしようではありませんか。

末筆ながら、本委員会の運営を担当されている大平文和、堀江三喜男、小藪国夫、平塚健一の方々、それをサポートして下さる本間大氏はじめ委員の方々、それを暖かく見守っていて下さる精密工学会会員、関係委員会に心からの謝意を表します。

詳細お問合せは、ご遠慮なく下記へどうぞ。

「マイクロメカニズム研究専門委員会」事務局、桐蔭横浜大学工学部 林原靖男

Tel: 045-972-5881

Fax: 045-972-5972

E-mail: haya@aoba.toin.ac.jp

〒225-8502 横浜市青葉区鉄町1614, 桐蔭横浜大学工学部 制御システム工学科

<http://www.toin.ac.jp/Lab/Hayashi/NEW.htm> にて、「マイクロメカニズムイベント（小さな³ロボットのコンテスト）」の情報が得られます。