

1.3 点字デバイス システム構成・機能

開発の進め方については、最初に、1列のみの“6文字/36ドット”の点字デバイス1号機、その評価結果（課題抽出）を活かした“24文字（6文字×4列）/144ドット”の点字デバイス2号機と、2回に分けて開発し、試作を行うこととした。

点字デバイス 試作1号機は、できるだけ点字部分を薄型化するべく、次の図のように、点字デバイス部分とドライブ・コントロール部分とハーネスで接続する形で分離することとした。

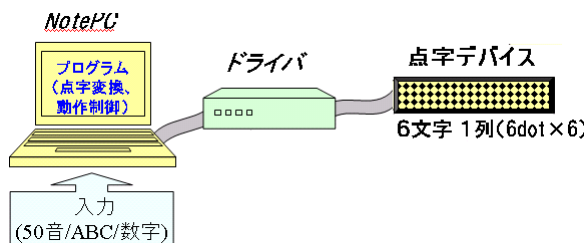


図5 1号機システム構成

このシステムの機能は、ノートパソコンで入力した文字が点字翻訳され、ドライブ回路を介して点字デバイスを駆動し、点字表記するものとした。

試作2号機のシステム構成・機能については、“24文字/144ドット（1列6文字×4列）”についてのみ定め、試作1号機の評価後、改めて検討し判断することとした。

2. 点字デバイスの構造検討（開発）

当初、開発するデバイスの構造は、当プロジェクトのメンバーである東京大学染谷先生らが以前に開発されたカード型点字ディスプレイ（2004 発表）をベースに考えていた。

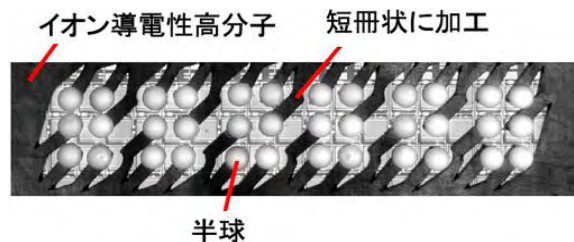


図6. 東京大学の点字ディスプレイ構造

この構造は、1枚のアクチュエータ素子からそれぞれの点字ドット昇降用にアクチュエータ素子を外枠を残した形で一筆書きのように巧みに切り出すもので、その先端には半球状の点字ドットが貼り付けられている。これら個々に機能化した複数のアクチュエータ素子への通電は、一方の電極を共通とし、もう一方の電極は分断し配線することで、個々のアクチュエータを独立して動かすことができるなど、非常に薄型にしやすい大変魅力的な構造である。

そこで、この構造をベースに当プロジェクトでの点字デバイスを検討した。しかし、現状のアクチュエータ特性のばらつき実力では、1枚のアクチュエータ素子から、形状の異なる複数の素子を特性の揃った形で切り出すことは非常に困難であること、点字ドットを素子に貼り付ける形では、複数の視覚障害者による識字評価に耐えられないと予想されることなどから、この構造での開発を断念し、他の構造で立案し開発を行った。

2.1 点字ドット昇降構造

デバイスの薄型化の為には、高分子アクチュエータの湾曲変位を点字ドットの昇降に直接利用する図7.0の構造が必要となる。その上で、前述のアクチュエータ特性のばらつきやデバイスの耐久性などを勘案した結果、アクチュエータ素子は同じ形状で各々の点字ドットごとに個

別に設け、点字ドットはアクチュエータと摺動しながら昇降する構造とした。

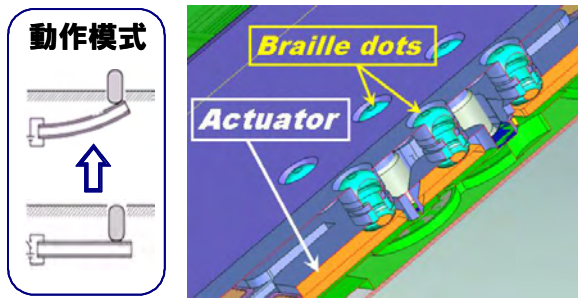


図 7.0 動作模式 図 7.1 点字デバイス断面構造図

2.2 アクチュエータ配置と形状

薄型の点字デバイス実現の為、点字ドットを湾曲変位動作で昇降する高分子アクチュエータは、重ならず平面に配置する必要がある。そして、目標とする点字ドットの高さや発生荷重を得やすくする為には、高分子アクチュエータのサイズは、できるだけ大きくする必要がある。また、それぞれの点字ドットの高さや発生荷重は均等であることが求められるため、点字ドットを昇降するそれぞれのアクチュエータの形状は全て同一にし、特性をできるだけ均等に合わせる必要がある。それら制約に、目標点字サイズ（点間：2.13mm/2.37mm、マス間：3.27mm）の制約を加え、アクチュエータの配置とサイズ（形状）の最適化を行なった。その結果、図 8.0 に示すような、全てのアクチュエータの一方の先端を切り欠いた上で、点字ドットの中央部（2の点、5の点）のアクチュエータが40～50度程度で斜めに配置することが最適解であることを見出した。

しかし、この最適解のアクチュエータ寸法は、長さ：3.8mm、幅：2mm（図 8.1）であり、ここからアクチュエータの支持固定部を引き、そして、アクチュエータ素子や他の部品の寸法公差、および、組

み立て性などを考慮して、アクチュエータの実際の動作長を導出すると、長さ：2.1～2.5mm、幅：1.7～1.8mm と非常に小さなものになり、点字ドットを昇降させることは大変困難であると判断された。

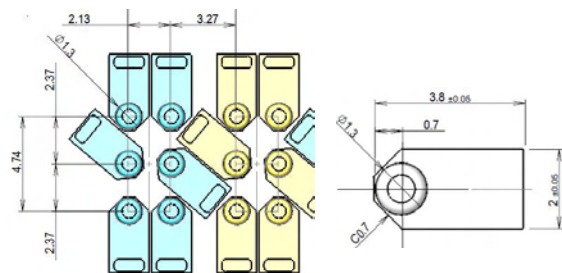


図 8.0 アクチュエータ配置-1 図 8.1 形状-1

それは、現状のアクチュエータ特性実力と、本プロジェクトで点字デバイス用に特性向上させる上積み部分を考察すると、点字ドット昇降用に必要なアクチュエータの動作長は、少なくとも、長さ：3mm、幅 2mmが必要と判断されるからである。

そこで、その解決策として、アクチュエータを平面配置から厚み方向に立体配置化する手段と、点字サイズを大きくする手段の両方を検討することとした。結論として、前者の立体配置する手段は、デバイス構造が複雑となり、その安定化の為にデバイス厚みが倍になってしまうことから不適當と判断し、後者の点字サイズを大きくする手段をとることとした。点字サイズの見直し（大きくする）は、まず、実際に市販されている点字デバイスを調査することで行なった。その結果、実際市販されている製品の中から、点間：3mmの点字サイズが試作する点字デバイス用には好適であると判断された。そこで、この点間：3mmの点字サイズへの変更について慶應大学 中野先生に見解を伺ったところ、「国内では一般的とは言えないが、“ジャイアント”と呼ばれ海

外では普及しているサイズ」であると云うことであったため、この点間サイズに仕様を改め、アクチュエータの配置や形状を再検討することにした。もう1つ重要なマス間については、国内外の製品や資料を調べると、点間：3mmの場合、4～6mmで設定されていることが判った。このとき、携帯電話へ6文字×4列での搭載を考えると、携帯電話のサイズ形状やデバイス構造や配線のスペースを考慮（試作機の構造の場合）すると、点間：3mmの場合、マス間は4.5mmより大きくすることは困難と判断し、最終的に点字サイズの仕様は、

点間：3mm、マス間：4.5mmに決定した。

再検討後のアクチュエータ配置と形状を図8.2、図8.3に示す。

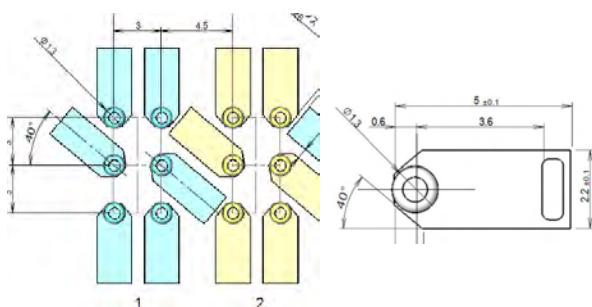


図8.3 アクチュエータ配置-2 図8.4 形状-2

アクチュエータ寸法は、長さ：5mm、幅：2.2mmであり、実際の動作長も長さ：3.5～4mm程度、幅2.0～2.2mm程度となり、点字ドット昇降用に必要な形状を得ることができた。

図8.5に実際のアクチュエータ写真を示す。

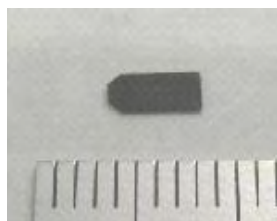


図8.5 点字デバイス用アクチュエータ

2.3 アクチュエータの支持と配線

アクチュエータ素子をアクチュエータとして機能させる為には、アクチュエータ素子に駆動用の配線と、カンチレバー構造とする為の支持(固定)が必要となる。特に点字デバイスの場合、点字1文字で6つのアクチュエータが必要であり、6文字ならば72ライン、24文字であれば288ラインと、非常に多い配線が必要であり、工夫が必要である。アクチュエータの支持についても、サイズが小さい中で動作長を得るために支持はできるだけ小面積で行なう必要がある。また、その少ない支持面積で識字に耐える保持力を得ることが求められるため、ここにも工夫が必要となる。

諸案検討の結果、試作機は実験で何度もアクチュエータを交換する必要があることから、組立性および交換作業性を優先させ、次に示す構造とした。

◇アクチュエータへの配線

平面配置されたアクチュエータの上側の電極群と下側の電極群ごとに、対のFPCにて(図9.0)配線する構造とした。

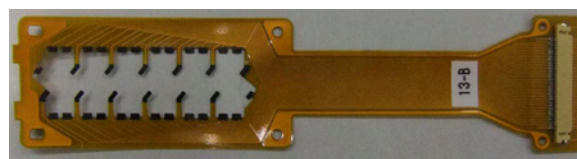


図9.0 アクチュエータ配線用FPC

当初、対のFPCではなく、1枚のFPCで配線を行なう構造も検討したが、構造がシンプルで作業性や特性安定性に優れる上記の構造とした。

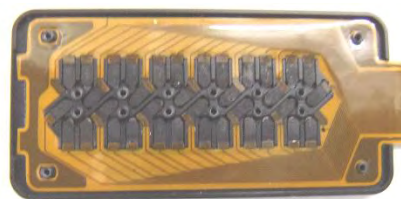


図9.1 FPCによって配線されたアクチュエータ

◇アクチュエータの支持

アクチュエータの支持固定は、アクチュエータ端部を上記の配線用FPCと共に両側から点字デバイスの筐体で挟んで行なう構造とした。アクチュエータを押さえ支持する部分は、筐体と一体化した弾性構造をとることで、複数のアクチュエータに所定の圧力が均一にかかり、安定した支持および通電状態が得られるよう工夫した。

◇アクチュエータとFPCの接点

FPCの端子部は内部の導体である銅箔が露出したものか、そこにハンダや金などがメッキされたものが一般的である。しかし、アクチュエータ電極膜との安定通電を考えた際、化学的に酸化がないなどの耐腐食性や、接触抵抗が低く、できるだけ面で受け導電性が安定していることが必要である。各種材料を検討した結果、耐腐食性があり適度な弾性を有するカーボン樹脂材料が好適であった為、FPC端子部(アクチュエータとの接点部)はカーボン樹脂材料を塗布する構造とし、安定通電に効果が得られている。

3. ドライブ・コントローラの開発

3.1 ドライブ回路

現行の高分子アクチュエータは基本構造の場合、 $\pm 2.5\text{V}$ 程度以下で駆動する。点字デバイスの場合、機能的には一方向への変位、つまり印加電圧のON/OFFだけでよい。しかし、一方向に偏って変位を繰り返したり、長時間変位させ続けたりすると材料に歪みが生じ、OFFにしても元に戻りにくくなるなどの問題が生じやすい。また、通電OFFにて湾曲した変位を元に戻す場合、残留電荷状況などによって戻り時間が長くなる場合がある。そこで、点字ドットが凸(突起)状

態から、凹(突起してない)状態に移行する際、或いは凹状態の際に一定時間、凸状態とは逆電位の電圧を印加することが有効である。従って、アクチュエータ素子の駆動には、 $+2\text{V}/-2\text{V}$ など、正負の2系統の電源を用意する必要がある。そこで、アクチュエータの駆動は、一般的なHブリッジで行うこととした。Hブリッジは片電源で両電源が容易に得られる反面、コモンがとれず配線数の増大となること、 $V_{ce(sat)}$ が電流の変化に伴い変化(アクチュエータ印加電圧の変動)するなどの問題があることから、半導体リレーでのSW駆動なども検討した。諸案検討の結果、試作1号機は、36素子/72本の配線で済むこと、 $V_{ce(sat)}$ の変動は、ドライブ最終段のMOS化で対応可能であることなどから、Hブリッジ方式のドライブ回路を開発することとした。開発したドライバは、点字デバイス(試作1号機)と36ピンのFC2本で接続され、ドライバのコントローラとなるPCとはUSBで接続される。アクチュエータの駆動電圧は、 $\pm 2\text{V}$ 、 $\pm 2.5\text{V}$ の固定電圧出力と、 $\pm 2.5\sim\pm 3.5\text{V}$ の可変電圧出力とした。

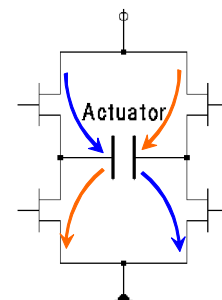


図 10.1 Hブリッジドライバ



図 10.2 試作1号機用ドライバ

3.2 コントローラ

ドライブ回路を介し点字デバイスの制御を行うコントローラは、プログラムのメンテナンス性や携帯性を考慮し、小型PCにプログラムを組み込む形態で開発を行った。点字翻訳については、資料によって表記が異なる部分があったが、慶應大学 新井先生と相談し、WEB上での公開翻訳ソフト“e Braille” <<https://ebraille.med.kobe-u.ac.jp/eBraille2/>> が、比較的正確な点字表記とのご評価を頂いたことから、それをベースとし、更に、同新井先生より貸与された“点訳の手びき 第3版 全国視覚障害者情報提供施設協会発行”と“点字表記辞典 改訂新版 視覚障害者支援総合センター”を参考に、点字翻訳を行なった。

次に点字デバイスコントローラの機能概要を示す。図 10.3 はコントローラの操作画面である。アクチュエータの駆動電圧などの一部を除き、点字デバイスの制御は、この操作画面で殆ど行なわれる。

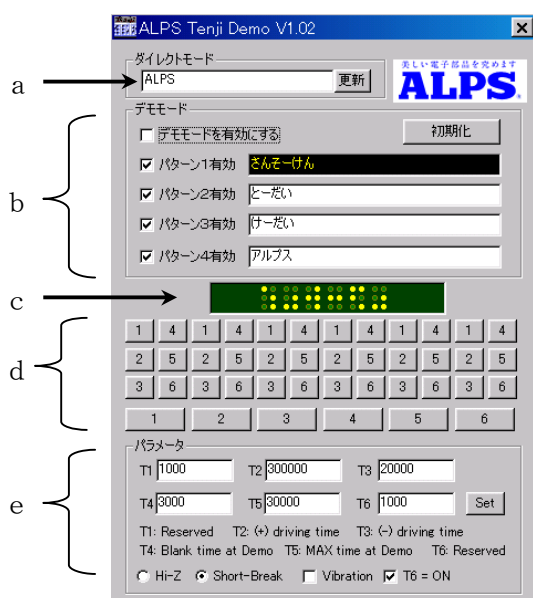


図 10.3 点字デバイス制御 操作画面

点字デバイスの制御は、①ダイレクトモード、②デモモード、③検査モードの

3つのモードがあり、次の機能を有する。

①ダイレクトモード

操作画面（図 10.2）の“a”に6文字までのテキスト文字を入力すると、点字変換されて点字デバイスが点字表記するモード。識字評価なども含む基本動作での使用を想定。

②デモモード

操作画面の“b”に、1列6文字で4列24文字をテキスト文字で予め入力しておき、1列ごと順番に点字デバイスが点字表記されていくモード。主に点字デバイスの動作デモでの使用を想定し設定。

③検査モード

操作画面の“d”の各ボタンをクリックすることで、点字ドット1つ1つ、または、文字ごとに、ドットの昇降を制御するモード。マニュアルで点字文字を表記させることもできるが、アクチュエータやデバイスの調整・検査での使用を想定し設定。

※その他

- 点字デバイスで点字表記される点字文字は、操作画面の“c”に点字で表示される。
- 操作画面の“e”にて、アクチュエータへの通電時間などを設定することができるようにした。一例を図 10-3 に示す。



図 10.4 アクチュエータ通電タイミング

- 点字翻訳できるテキスト文字は、拗音・濁音を含む“ひらがな”、“カタカナ”、

“英数字”、記号(一部を除く)まで対応(漢字入力は非対応)。入力したテキスト文字通りの点字翻訳とし、点字特有の特殊な翻訳(“分かちがき”、“う段・お段の長音の長音符表記”など)には非対応。

4. 点字デバイス試作評価と改善

4.1 点字デバイス1号機 試作結果

完成した試作1号機を図11.1に、その全体構成を図11.2に示す。



図11.1 点字デバイス試作1号機

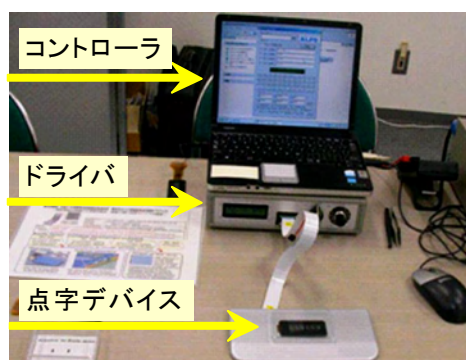


図11.2 点字デバイス試作1号機の全体構成

表1に、前項1で設定した点字デバイス開発目標に対しての結果(抜粋)を示す。

項目	目標	結果
ドット高さ [mm]	≥0.3	0.35~0.40
ドット発生力[gf]	≥3	4~5
デバイス厚み[mm]	—	3.0
6文字1列(点間 3mm/マス間 4.5mm)		

表1 (代表的) 開発目標に対する結果

表1に示す通り、試作1号機開発に於いて、点字ドット高さおよびドット発生力(発生荷重)などの目標を達成した。

最終的な点字デバイス1号機の仕様・特性をまとめたものを表2に示す。

項目	仕様・特性
デバイスサイズ	L65×W30×D3mm
ドライバ	外付け
コントローラ	外付け(PCで制御)
点字文字数	6文字1列(36ドット)
点字ドット径	φ0.13mm
点間/マス間	3.0mm/4.5mm
ドット高さ	0.35~0.4mm
ドット発生力	4~5gf
基本的機能	PCで入力したテキスト文字が点字翻訳され点字デバイス表記

表2 試作1号機の基本仕様・特性

4.2 点字デバイスとしての評価・改善

試作1号機は、最終的に表2の特性に至る過程で、プロジェクトメンバ(産総研 安積先生/杉野先生、東京大学 染谷先生/関谷先生、慶應大学 中野先生/新井先生)の触感評価・検討、慶應大学 中野先生、新井先生による視覚障害者のユーザー評価実験を複数回実施した。



図12 ユーザー評価の様子

慶應大学担当のユーザー評価実験では、「一般の点字よりは触読効率は低いだが、充分程度の識字が可能」と評価されたが、特に次のような課題も確認された。

- ①点字ドット高さのばらつきが大きい
- ②耐久性
- ③点字マス間が小さい

これらについて、

①の点字高さのばらつきは、突出している点なのか、突出していない点なのかを不明瞭にしてしまい触読効率に影響を与えるので改善が必要である。

②耐久性とは、長時間 識字評価を行っていると、点字高さや発生荷重が低下したり不均一となる現象が生じるなどの課題である。これは、点字昇降動作でアクチュエータ素子にクセが付いたり、触読操作（ソフトタッチの人と、ハードタッチでぐいぐい押す人など、個人差がある）によってアクチュエータ素子がダメージを受けることなどが原因のようである。これら①、②の課題は、アクチュエータ素子とデバイス構造の両面からの取り組みが必要であると考えられる。

4.3 試作1号機の改善

試作1号機の改善は、(デバイス構造が固まっているため、)主にアクチュエータ素子特性の改善にて課題改善を進めた。(アクチュエータ素子特性の改善は、第5項で説明)。

結果、点字ドットの特性が向上し、高さばらつき(4.2項 ①)も低減されたが、耐久性(4.2項 ②)改善が不十分であった為に、それが高さばらつきに大きな影響を与えてしまい、当プロジェクト期間内で、高さばらつきの顕著な改善を得るまでには至らなかった。

4.4 試作2号機の開発

1.3項に従い、まず、点字24文字表記(1列6文字×4列)の試作2号機をどのような形態にするか検討した。検討した案は大別して次の2つである。

a:ドライブ回路などを外付けとした、薄型の24文字点字デバイス構造

b:ドライブ回路や駆動用電池などを内臓した、携帯電話モック組込み型の24文字点字デバイス構造

結論的には、”b”の携帯電話モック組込み型の形態を選択し開発を行った。その主な理由は、”a”のデバイス構造では300近い配線ラインを小型薄型の点字デバイス内でアクチュエータに配線し、また、外付けドライバーにハーネス接続することの技術確立が(一発の試作で具現化させなければならない)本プロジェクト期間では困難と判断したからである(高コストな多層FPCを採用しても、組立性や耐久信頼性などにリスクあり)。

次に、携帯電話モック組込み型とした試作2号機開発について、1号機の課題(4.2項)の主な改善手段について説明する。

①点字ドット高さのばらつき改善

1号機の点字ドット昇降部は、部品加工精度の影響から、最大高さが0.05mm程度ばらつき、点字ドット高さがアクチュエータ特性ばらつき以外でも生じていた。2号機は、点字高さを目標仕様下限の0.3mmに機構的に制限することなどで改善対応を行なった。

②耐久性の改善

アクチュエータ素子の改善の他、機構・構造的に幾つか有効であろう改善策を立案し、一部は基本設計まで実施した。しかし、プロジェクト日程的にこの施策実施は困難であった為、試作2号機には非対応である。

③マス間の変更

点間を3mmに変更した際に、マス間を4.5mmとした最終的な理由は、国内標準的マス間とマス間の比率(約1.5倍)に準じたためである。ユーザー評価の結果で、マス間の拡大(4.5→6mm程度)の要望が

あり、改めて試作2号機への反映を検討した。しかし、1列6文字の点字部が約25mmほど長くなってしまい、携帯電話モックをかなり大型化しないと搭載が難しい為、プロジェクトメンバーの了解をとり、マス間は1号機と同じ4.5mmとした。実際問題として、点字高さがある程度安定していれば、マス間4.5mmでも十分に識字できる人も少なくないようであり、慶應大学の考察のように、点間・マス間・行間などの設定は、点字ドット特性など他の周辺条件と共に最適選定していく研究の必要がありそうである。

こうして完成した試作2号機を図13.0に、その特性・使用を表3に示す。



図13.0 点字デバイス試作2号機

項目	仕様・特性
デバイスサイズ	L110×W55×D24.5mm
ドライバ	内蔵(駆動電池内蔵)
コントローラ	内蔵(駆動電池内蔵)
点字文字数	24文字(144ドット) 1列6文字×4列
点字ドット径	φ0.13mm
点間/マス間	3.0mm/4.5mm
ドット高さ	0.3mm
ドット発生力	3~4gf
基本的機能	[電池駆動]: 予めPCで記憶させた文字(Max 216)を点字表記 [PC接続]: 試作1号機と同様の機能を制御

表3 試作2号機の基本仕様・特性

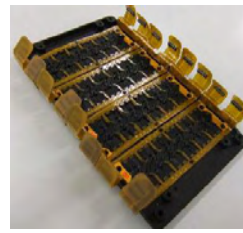


図13.1 アクチュエータ組込み



図13.2 ドライバ実装

試作2号機は、試作1号機の課題であった高さのばらつきも改善が認められ、目標の点字デバイス特性(24文字 & 点字ドット特性仕様)を実現した。

4.5 点字デバイス特性改善結果まとめ

試作1号機、試作2号機の特性改善の結果履歴をまとめたものを図14に示す。

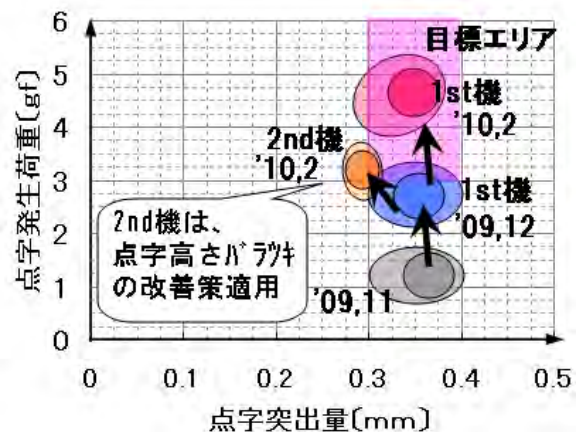


図14 点字デバイス 特性改善まとめ

点字デバイス開発初期は、点字ドット発生荷重が1gf程度であったが、点字デバイス用アクチュエータのアレンジ開発の進行や、デバイス開発の進行と共に徐々に特性が向上し、最終的には、目標の3gfを上回る特性を達成するに至った。

5. 点字デバイス用アクチュエータ開発

点字デバイスの開発と平行し、点字デバイス用高分子アクチュエータ開発についても、産総研と連携し取り組んだ。その結果、図15に示すように、開発当初、高分子アクチュエータを点字デバイス用

に作製すると課題が生じて特性が低い状態であったが、種々検討による改善によって、最終的には目標とする特性まで、点字デバイス用に開発アレンジすることができた。

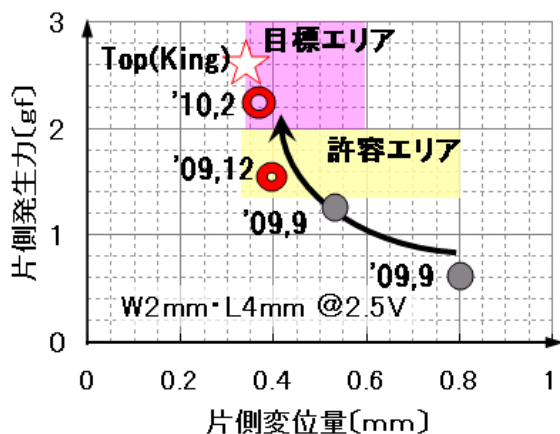


図 15 高分子アクチュエータの特性改善

この開発アレンジは、材料から製法まで広く深く検討を実施することで行なった。その中で幾つか簡単に説明する。

5.1 各種条件の見直し・最適化検討

点字デバイス用の高分子アクチュエータは、発生力を得る為の厚膜化と点字サイズからくる小サイズ化の中で、いかに必要な発生力と変位をバランスよく得るかが鍵となる。この開発は、材料・分散～製膜・乾燥～素子化に至る各種条件について、材料アレンジを取入れながら、最適化検討することで導出していく方法で主に行なった。この最適化検討で、特に、開発初期には思惑通りの特性が得られなかった厚膜化の課題が徐々に改善向上し、最終的に点字デバイス特性の目標の達成に、大きく寄与することができた。

5.2 応答性の改善

一般に、高分子アクチュエータは、発生力を得ようと厚膜化すると応答性が下がってしまう。この応答性の低下を補う

為に、各種検討を実施し効果を得た。それらの中で代表的な幾つかの検討結果を以下に示す。

◇Auスパッタによる集電膜適用

電極膜の表面にAuスパッタすることで高導電性の集電膜を形成した結果、発生力・変位ともに 30～40%、応答性が 1.5～2.5 倍向上することが確認された。但し、現在、耐久性に難があり改善検討中である。



図 16 Auスパッタした電極膜電解

◇ESDによる電解質膜（後述）

イオン液体の液体状態の量を増やしたことで、変位速度が 2～3 倍になるなど、応答性の向上が得られた。

◇PEDOTの活用

導電性高分子の中でも際立って高導電性である PEDOT/PSS は、電極膜への給電や集電材料として応答性向上など各種効果が期待できるが、強酸化しやすく、高分子アクチュエータへの適用が困難であった。

そこで、分子科学 (MO 法) シミュレーションを用いて、水 (比誘電率: 78.4) 溶媒中と有機溶媒 (比誘電率: 48.9) 中の PEDOT の π 電子分布に影響が現れないか検討を実施した。その結果、導電性に寄与するチオフェン環部分の π 電子には殆ど影響がないことが判り、種々の検討を経て、強酸化しない PEDOT 膜を開発した。今後、点字デバイス用アクチュエータへの適用によって、応答性を含む