

# 電力分野へのセンサ・マイクロシステム応用の可能性について

佐々木 実\* (豊田工業大学), 柴崎 一郎 (豊橋技術科学大学)

Possibility of Sensors and Microsystems Applied to Electric Power Fields  
Minoru Sasaki (Toyota Technological Institute), Ichiro Shibasaki (Toyohashi University of Technology)

## 1. まえがき

2011年3月11日の東日本大震災以降、わが国では再生可能エネルギーの積極的利用が、再検討されている。太陽光や風力といった出力変動しやすいエネルギー源であるため、電力供給におけるエネルギー効率の最適化を図る電力網であるスマートグリッドの役割が大きくなる。エネルギー関連の話題はE部門においても議論されているが、スマートグリッドまで特定すると具体的な活動やデバイスが見えにくい状況ではある。著者なりに、E部門の特徴を検討しつつ、センサ・マイクロシステムの電力分野への応用可能性について考察してみた。

## 2. E部門について

E部門は、センサとマイクロシステムに関する最新研究の発表と交流の場である。新材料物性技術、半導体微細加工技術、ナノ技術、応用化学やバイオ技術、ロボット技術、センシングシステム技術などを集結し、新しい学問・産業分野の開拓を支援している。本分野は、対象デバイスのサイズが非常に小さい点が他部門との違いであろうが、内部の仕組みや扱う物理・電気現象の多くは他部門のそれらと共通することも多い。また、センサ情報を有効活用することで大きなシステムのきめ細かな動作に貢献し、情報通信とも関連が深い。従ってAからDに至る他部門全てに関連する分野とも言える。E部門を中心に活動するメンバーは、センサ・マイクロシステムの小ささ（どこにでも配置して利用できるという期待値）のみならず、キーパーツとして考えたときの技術の深さや応用展開の広さに魅力を感じている方が多いのではないだろうか。化学やバイオ関係の研究も多く、研究テーマのバリエーションは広い。応用自体においても新規なものを提案する傾向がある。

図1にエネルギーの流れに対する、E部門における調査専門委員会の技術分野関連図を示す。2011および2012年の電気学会全国大会シンポジウム予稿資料には他部門の同様な図が示されているので参照されたい。部門の規模による違いもあるが、委員会の数が少ないことは否めない。対象を考えるとPower SystemやEnergy Conversionの機器よりも、

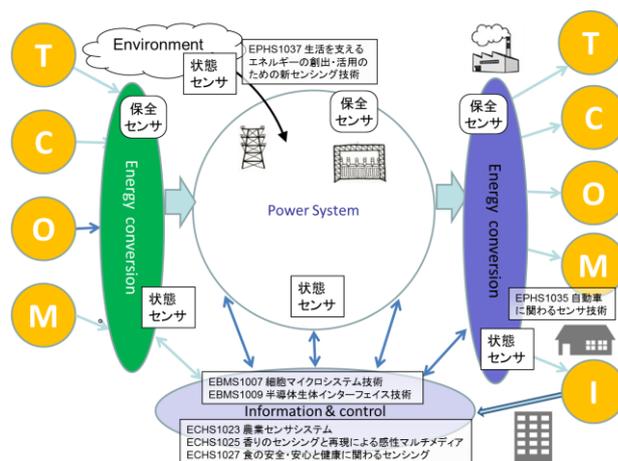


図1 E部門における調査専門委員会の技術分野関連図。

それらの中で利用されるセンサ類がE部門の関心と言える（このため著者らは図の作製に悩んだ）。E部門の研究者はセンサやマイクロデバイスを中心に置いて、どこでも利用される可能性があるという、部品側からの視点の比重が多いと感じるが、この点はあまり認識されていない部門の特徴ではないだろうか。図には保全センサや状態センサを書き加えた。昨年度の任意アンケート結果から、機器（電力網に限らず、広く設備類）の管理や保全に応用する研究にE部門の研究者（回答者の58名中87%）は興味があると答えている。電力システム分野への応用は将来重要になる（やはり87%）とも答えている。であればこそ、センサに対する要求や、何処でどう使われるべきなのかというシステム側との交流は、もう少し努力をするべき点かもしれない。逆に、センサ・マイクロシステムの可能性をシステムを扱う側に伝えていく役目でもある。

他部門も含めた活動を、過去の電気学会全国大会から見てみよう。2011年は28のシンポジウムが企画された。スマートグリッドに関係するものが以下の6つあった（H5は我々のスマートグリッド特別研究グループ、S22はE部門関係である）。全シンポジウム数の20%以上の割合であることから、大きな流れである。電気学会全体として、独立に

複数グループが議論を温めている。

- H2 スマートコミュニティ/スマートグリッドと技術者倫理
- H3 国際標準化とスマートグリッド ～電気学会 電気規格調査会 (JEC) 設立 100 周年を迎えて～
- H5 電気学会の活動とスマートグリッドとの関連
- S7 マイクログリッド、スマートグリッド等の研究動向
- S10 低炭素型エネルギー需給システムの構築に向けて
- S22 生活を支えるエネルギーの創出・活用のための新センシング技術

震災後の 2012 年は 27 のシンポジウムが登録された。電力供給に関わる以下の 7 つが企画された。

- H3 スマートグリッド特別研究グループの活動報告
- S1 電力の安定供給と核融合
- S5 太陽光発電システムの価値向上技術の現状と展望
- S6 東日本大震災後の原子力・核融合分野の放射線・大電力技術の動向について
- S8 低炭素型エネルギーシステムのデザイン (ポスト震災を見据えた新たな地域社会構築のモデルとは)
- S17 需要設備向けスマートグリッド実用化技術
- S21 新エネルギーの創出とその活用

S21 は E 部門の活動の一つであるが、講演タイトルは以下のものである。

- 1 「企画のねらい」 毛塚博史 (東京工科大学)
- 2 「環境応答による植物から発生するイオンの電荷測定」 川口俊郎・二神光次 (光線研究所)・一木博文・春山元秀 (九州産業大学)
- 3 「バイオセンシング技術を用いた生体エネルギー活用デバイス」 三林浩二 (東京医科歯科大学)
- 4 「スマートソーラーの最近の動向」 富田孝司 (東京大学)
- 5 「太陽光発電産業に関する世界市場の流れと現在の日本の状況」 笠原唯男 (サンテックパワージャパン)

マイクロデバイスと合わせて、大電力関係の講演が盛り込まれている。E 部門の研究者が、センサをベースとしつつも、大規模システムへの展開に関心があることが伺える。

「生活を支えるエネルギーの創出・活用のための新センシング技術調査専門委員会」の趣意書を見てみる。「エネルギーの創出・活用のため」であることを謳っていることから、図 1 に示すエネルギー流れの全てに関連する。「新エネルギー創出や CO<sub>2</sub> 削減の為の技術開発に伴う新センシング技術」から安定供給と環境性を配慮していること、「電力活用・運用上のトラブル防止・危機管理などのセンサシステム」から安全性を配慮していること、「シリコンテクノロジーと融合」は、センサ分野独特ではあるが、高機能なものを低価格で出す経済性に結び付く。以上を踏まえて図式

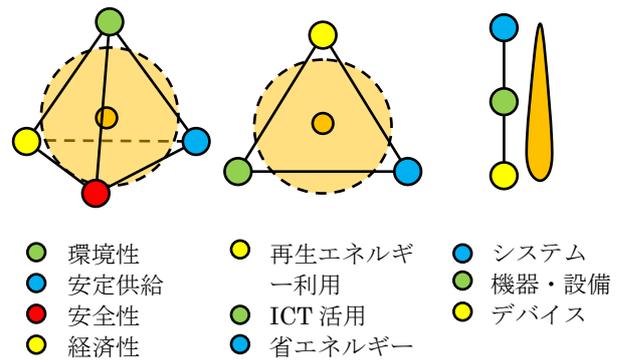


図 2 生活を支えるエネルギーの創出・活用のための新センシング技術調査専門委員会の指向性

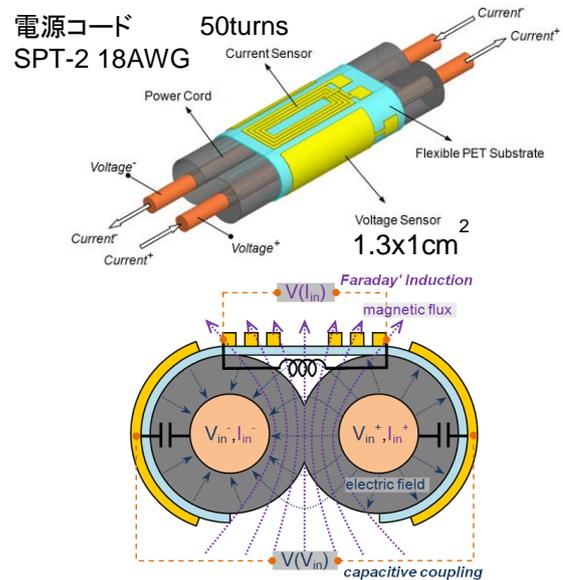


図 3 台湾から発表された電源コードに巻きつけるフィルム型パワーセンサ。

化したものが図 2 である。図式化にもよるが、広い領域を網羅的に検討する委員会となっている。センサやデバイスを主体として既存システムを見る立ち位置は、横串的な視点とも言える。

### 3. デバイス例

E 部門と関係が深い国際会議での発表講演を見てみた。Transducers'11 (発表 743 件 (投稿 1663 件)) では Power が関係するものは主としてエネルギーハーベスティング技術 (太陽光や照明光、機械振動、熱などの環境エネルギーを採取し電力を得る技術) であり、カテゴリとしても組まれているが、スマートグリッドのように大電力を扱う電力網で利用されるセンサを意識したものは論文タイトルから判断する限り無かった。MEMS2012 (発表 346 件 (投稿 978

件))では台湾 Chiao Tung 大学から図 3 に示すような、電流と電圧を測定するセンサが発表された[1]。一般的な平行 2 線の電源コードに巻き付けるフィルムデバイスであり、磁場を拾うコイルが電流を測定し、静電結合する電極間に生じる電圧によって電線間の電圧を測定する。研究の潮流としては、世界的に見て、スマートグリッド関連のセンサは萌芽期であると考えられる。電力を利用する全ての機器が関係するわけであるから、潜在的な市場規模は大きいことは事実であろう。

最後に著者の一人(佐々木)が最近始めた電圧センサの研究を紹介する[2]。電流センサについては、電流が発生する磁場を測定することで、著者の一人(柴崎)が専門であるホール素子が非接触計測に適する[3]。対して電圧センサには有力なものが特に無い。一般の電圧計と異なり、安全のために短絡しない非接触センサが求められる。高電圧を扱う系統も多い。そこで、マイクロアクチュエータなど一体となった振動子が、ジャイロセンサなどに利用されてきたことに注目した。図 4 は製作したデバイス写真である。振動子は細長の直線形状を持つ。図の上側の構造が、平行平板型の静電アクチュエータとなっている。振動子はサスペンションであるバネで浮いた構造となっているが、変位に非線形な静電引力が働く。微小変位においては、非線形な静電引力を負のバネによる力として考えることができる。負のバネ定数の大きさは、振動子-平行平板電極間距離が狭くなると非線形に大きくなる。これが系全体のバネ定数を減少させ、共振周波数が減少する。この共振周波数変化によって電圧を測定する原理である。振動励起用の櫛歯電極は変位に対する非線形性を持たず共振周波数を変化し難い。非測定電圧が 0 から 100V に増加すると、周波数は 6063 から 5325Hz に減少した。図 7 に非測定電圧と共振周波数の関係を示す。青色のカーブは理論的に求めた特性であり、実験値を良く説明する。非測定電圧が大きいほど、周波数減少の割合(感度)は大きい。ギャップを利用した測定原理であるので絶縁が取り易く、抵抗による分電圧方式と比べると内部からの発熱も僅かであると考えられる。温度依存性のような影響は抑えやすいと考えている。

#### 4. 展望

システムとしては複雑な機構を持っていても、小さなチップ内部に組み込んで、使う側にとってはシンプルな利用を可能にする点がマイクロシステムの特徴の一つである。デバイスのバリエーションも多い。E 部門ではそれらをデザイン、製作、評価、応用することに長けた技術者が集まっている。特別研究委員会での活動を通じて、他部門の研究者と話合った際に、それなりに悩みながら E 部門の特徴を様々に自問自答し、委員会においては他部門から多少なりとも理解がされはじめているように思う。図 1 は初年度

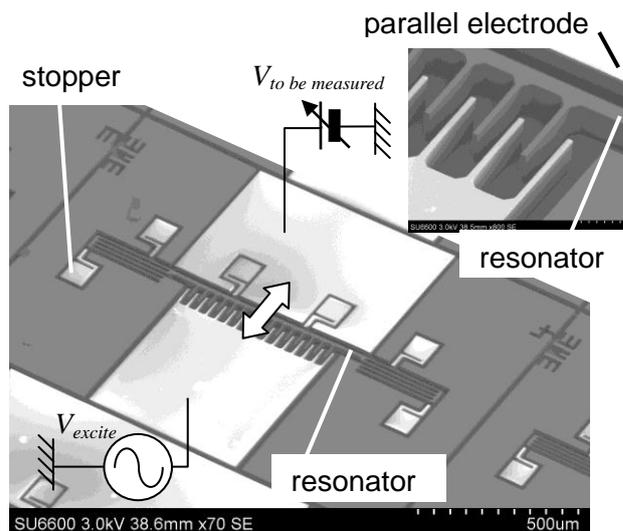


図 4 静電引力を受ける振動子の特性を利用した非接触電圧センサ。

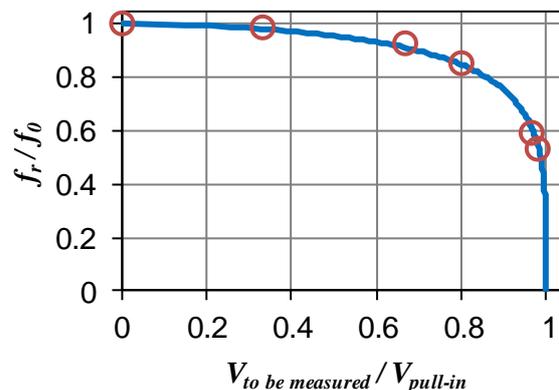


図 5 被検出電圧に対する振動子の共振周波数の変化。Pull-in 電圧は 150V であり、規格化した。

からの宿題であった訳であるが、今回のような形で説明文章と一緒にまとめてみた。他部門との理解と交流が活発となり、センサ・マイクロシステム研究が一歩進み、大きな展開に結び付くことを期待する。

#### 文献

- (1) Y. C. Chen, W. H. Hsu, S. H. Cheng, Y. T. Cheng, Proc. MEMS 2012, 109-T, p.620.
- (2) S. Hasegawa, S. Kumagai, M. Sasaki, 第 29 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, SP4-2, p.616
- (3) 柴崎一郎, 応用物理, Vol. 80, No. 1 (2011) p.36.