

特集：電気化学会「東北支部」特集—地域産業振興と復興を支える電気化学—

1. 東北大学のMEMS拠点—異分野融合と協働から生まれたバイオLSI

井上 (安田) 久美, 伊野 浩介, 珠玖 仁, 末永 智一

1. はじめに

東北地域の中で100万人の人口を擁する仙台は企業が集積する商都であるとともに、東北大学を筆頭とする学術研究機関が集積する学都でもある。とりわけ、「研究第一」、「門戸開放」、「実学尊重」の理念を掲げる東北大学は、いち早く大学発のベンチャー企業を設立して地域産業の育成を図るなど、伝統的に「世界と地域に開かれた大学」の方針の下、知の成果の社会還元を進めてきた。2011年3月11日に発生した東日本大震災では東北大学も多大な被害を受けたが、全学を挙げて教育・研究機能の回復に努めるとともに、創立以来の伝統と精神を礎に東北の復興、日本の再生に向けて取り組んでいる。

東北大学の「マイクロシステム融合研究開発拠点」はこの伝統の流れを汲み、JSTの先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラムのひとつとして2007年7月1日に採択された10年間のプロジェクトである。本拠点では、次世代産業の種になる「集積化マイクロシステム基盤技術」の開発を目的にしている。本プログラムにより、東北大学がこれまで蓄積してきたマイクロシステム研究分野における成果を核にして、異分野融合による新しい価値を創造するために、多くの企業および多くの研究者が参加する開かれた研究開発拠点がここ仙台に形成されている。我々の高機能多点アンペロメトリックセンサ「バイオLSI」もこの拠点研究により生まれた。これまで、学会や紙面でバイオLSIそのものについては何度か紹介してきたが、バイオLSIが拠点研究の中でいかにして実現したかについてはなかなか紹介する機会がなかった。本特集号に執筆の機会をいただき、ぜひ、バイオLSI実現の背景についても詳しく紹介したいと考えている。

本稿では、まず、バイオLSIを紹介する。そして、このバイオLSIがどのようにして生まれたかについて、拠点研究における取り組みを中心に紹介する。最後に現在の研究の広がりおよび今後の展望について述べる。

2. バイオLSI

2.1 バイオLSIの概要と特性

バイオLSIはLSIを利用したバイオ計測のための多点アンペロメトリックセンサアレイである^{1,2}。多点を利用して、ビデオカメラのように電気化学反応の動画イメージを撮影したり、多サンプル（または多項目）同時分析

をしたりすることができる。我々は、これまでにアンペロメトリックイメージングシステムの構築を目的に、走査型電気化学顕微鏡 (SECM; scanning electro-chemical microscopy) や微細加工 (MEMS; micro electro mechanical systems) 多点アレイ電極によるアンペロメトリックイメージングの研究を行ってきた^{3,4}。これらの成果とLSI技術との融合により、新たなセンサプラットフォームとして開発されたのが「バイオLSI」である。アンペロメトリックセンサとLSI技術の融合は、センサの高機能化を実現するのみでなく、“More-than-Moore”と呼ばれる「集積度の限界による半導体産業の閉塞状態を打破するために、多機能化による付加価値を与える技術」として、次世代産業のひとつの種となることが期待できる。我々は現在、バイオLSIが医療、環境、工業、生命科学研究分野での分析ツールとして利用されるよう、産業化も視野に入れた応用研究を行っている。

従来、電界効果トランジスタ (FET; Field effect transistor) の利用を中心とするポテンシオメトリックセンサアレイは比較的多くの報告例があるが、100電極以上を集積化したアンペロメトリックセンサアレイはCombiMatrix社⁵やチューリッヒ工科大学⁶、Simens社等⁷からの少数の報告があるのみである。これは、FET等の比較的簡単な半導体構造で高感度計測が可能なポテンシオメトリックセンサと比較して、アンペロメトリックセンサは複雑な回路素子を必要とし、半導体技術で回路の集積化を図ろうとすると、高コストなLSI等を導入する必要があるためと考えられる。バイオLSIはこれまでに報告されているアンペロメトリックセンサアレイの中でも抜群の特性を誇っている。

バイオLSIの特性をTable 1に示す。バイオLSIは10.4 mm × 10.4 mmのLSIチップの中央付近に20 × 20個のセンサ電極が250 μmピッチで並んでいる (Fig. 1A, B)。LSI技術を利用することで、100点を超える多点電極アレイを作製できるのみでなく、±1 pAという通常のポテンシオスタットでは難しい感度を達成している。これは、電極の直下にLSIの演算増幅器 (オペアンプ) を配置しているため、ノイズの影響なく微小な電流を測定することができるためである。また通常、1 pA (1×10^{-12} A) レベルの微小電流を検出するためには、1 TΩ (1×10^{12} Ω) 程度の超高抵抗の抵抗器が必要となり、このような抵抗を精度よく、しかも小さなチップ内に作製することは困難である。これを解決するために、我々はスイッチドキャパシタによるI-V変換を用いた。さらに、ソフトウェアの

Table 1. バイオ LSI の特性.

A. 測定チップ				
電極数	400			
配置	20 × 20 グリッド配置, ピッチ 250 μm			
標準形状	直径 40 μm, 円形 (直径 5–200 μm 円形, 四角形等も可能)			
標準電極材質	Au (Pt, Pd 等も可能)			
B. 電流検出				
電流検出レンジ設定	100 nA	10 nA	1 nA	0.1 nA
電流検出レンジ	±100 nA	±10 nA	±1 nA	±0.1 nA
ノイズレベル*1	<2 nA	<30 pA	<10 pA	<1 pA
サンプリング間隔	18 ms	47 ms	120 ms	125 ms
電流検出分解能	±5% (Typical accuracy versus load current)			
電流検出レンジ設定	0.024% f.s.	0.013% f.s.	0.016% f.s.	0.015% f.s.
入力インピーダンス	10 ¹³ Ω			
入力バイアス電流	0.1 pA			

*1: Au 電極で $2 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ フェロセンメタノール水溶液 (支持塩: 0.1 mol dm^{-3} KCl) を測定したときの典型的な値.

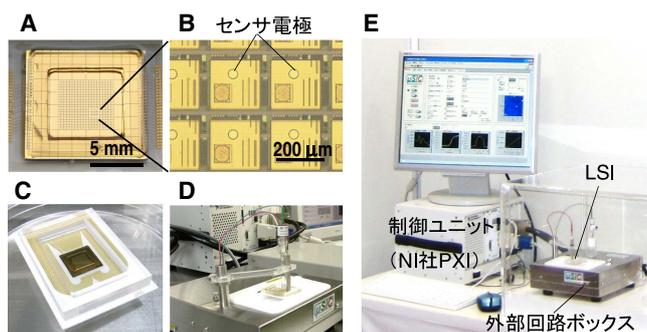


Figure 1. (Color online) バイオ LSI チップとバイオ LSI システム. 文献1より改変引用.

工夫により, $\pm 1 \text{ pA}$ から $\pm 100 \text{ nA}$ の広レンジでの測定が可能になっている. 時間分解能は 1 イメージあたり 18–125 ms で検出電流レンジによって異なる.

2.2 バイオ LSI による測定とイメージングのデモンストレーション

バイオ LSI での測定は, Fig. 1C, D に示すように, LSI の周りに取り付けられた樹脂製の液溜めに溶液を入れて, 上方から参照電極と対極を挿入して行う. 測定の制御およびデータ収録は National Instruments (NI) 社の PXI およびソフトウェア LabVIEW を使ったプログラムで行っている (Fig. 1E). サイクリックボルタンメトリ, ポテンシャルステップクロノアンペロメトリなどの計測を行い, 400 電極の電流値をリアルタイムにカラーマップ上に表示できるほか, 400 電極のボルタモグラムやアンペログラムを表示する機能, テキストファイルで保存する機能などを持っている.

バイオ LSI を用いて, $2 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ フェロセンメタノール水溶液を測定したサイクリックボルタモグラムを Fig. 2 に示す. ほぼ理論通りの形状できれいに揃った 400

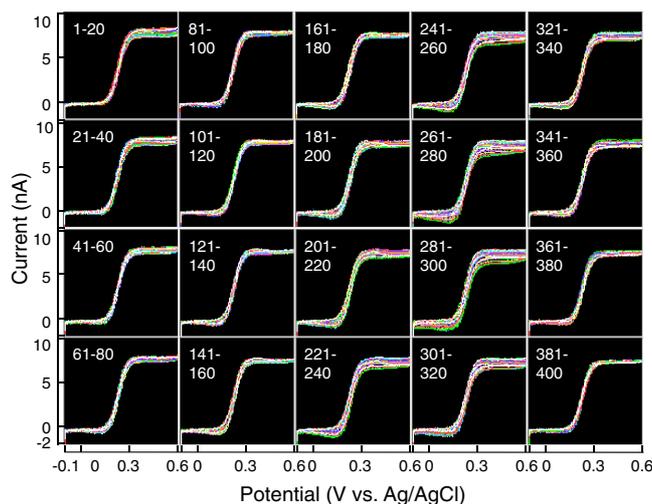


Figure 2. (Color online) バイオ LSI で同時に取得した 400 電極のサイクリックボルタモグラム. 測定溶液は $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ フェロセンメタノール水溶液 (支持塩 0.1 mol dm^{-3} 塩化カリウム), 参照電極は Ag|AgCl|sat.KCl , 電位走査速度は 20 mV/s . 1 列 20 電極分のボルタモグラムがひとつのグラフに重ねて描かれている. 電流はフェロセンメタノールの電極酸化に起因している. バイオ LSI の直径 $40 \mu\text{m}$ の電極は微小電極に近い振る舞いをするため, ほぼシグモイド型のボルタモグラムが得られる. 文献1より改変引用.

のボルタモグラム ($E = 0.50 \text{ V vs. Ag/AgCl}$ の電流値の変動係数 3.6%) が得られた. これは 400 電極がほぼ均一に正しく機能していることを示している.

また, Fig. 3 に酵素活性のイメージング結果を示す. グルコースオキシダーゼがバイオ LSI 上の Fig. 3A の点線内に固定化されている. $t = 0 \text{ s}$ でグルコースが添加された後, まずグルコースオキシダーゼ固定化部分で過酸化水素が生成し, その後, 拡散により広がってゆく様子がアンペロメトリで鮮明にイメージングされている.

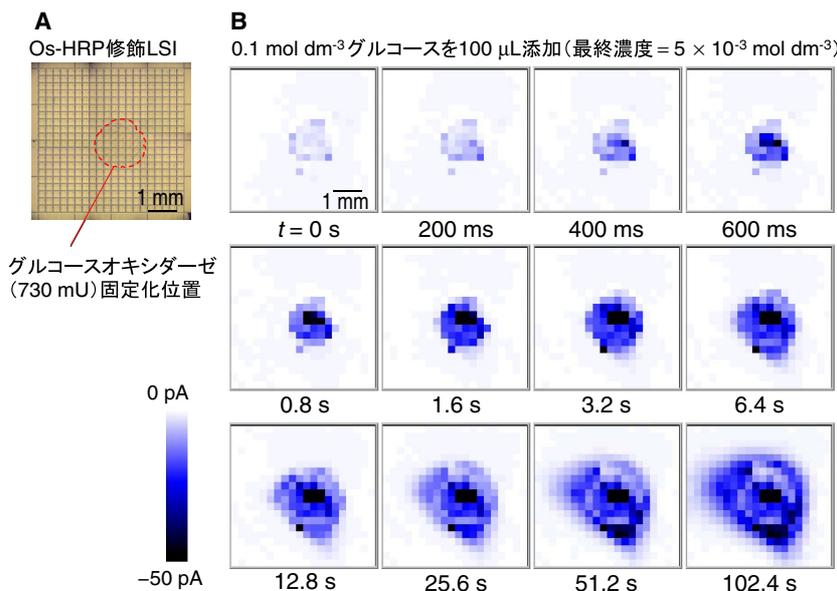


Figure 3. (Color online) バイオ LSI を用いたアンペロメトリックイメージングのデモンストレーション。バイオ LSI 上に固定化したグルコースオキシダーゼにグルコースを添加し、生成する過酸化水素をバイオ LSI でアンペロメトリックにイメージングした。A. グルコースオキシダーゼ塗布位置。バイオ LSI 表面には予め 10 μL の西洋ワサビペルオキシダーゼ含有オスミウムポリマー (Os-HRP; BAS 社) をスピコート (1500 rpm, 60 s) で塗布した。その上に、2200 U mL^{-1} グルコースオキシダーゼのリン酸緩衝生理食塩水 (PBS; phosphate buffered saline) 溶液と 5 mg mL^{-1} ウシ血清アルブミン水溶液と 1.25 wt% グルタルアルデヒドの 1:1:1 混合溶液を 1 μL 滴下して 4 $^{\circ}\text{C}$ で乾燥させた。B. グルコース添加後の 400 電極の電流値を表すカラーマップの推移。バイオ LSI 上の液溜めに 1900 μL の PBS を添加して 400 電極に $E = 0.0\text{V vs. Ag/AgCl}$ (Os-HRP 中のオスミウムが還元する電位) を印加し、電流が安定した後に $t = 0\text{s}$ のときに $100 \times 10^{-3}\text{ mol dm}^{-3}$ グルコース PBS 溶液を 100 μL 添加した。文献1より改変引用。

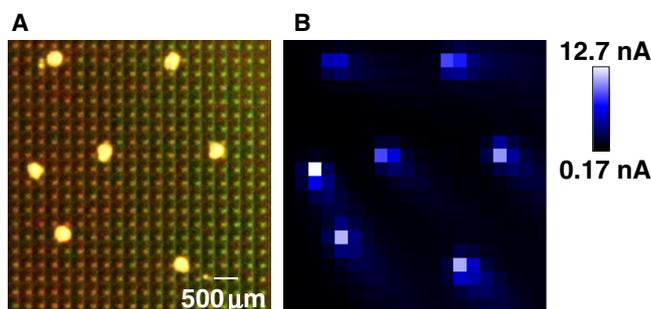


Figure 4. (Color online) バイオ LSI を用いた ES 細胞の ALP 活性のイメージング。A. バイオ LSI 上に置いた ES 細胞スフェロイドの様子。スフェロイドはハンギングドロップ法で初期細胞濃度 1000 cells drop^{-1} , 3 日間培養したものを用いた。B. ポテンシャルステップ 40 秒後の 400 電極の電流値を示すカラーマップ。4.7 $\times 10^{-3}\text{ mol dm}^{-3}$ パラアミノフェニルリン酸 (pAPP; *p*-aminophenyl phosphate) を含む Tris-HCl バッファ (pH 9.5) をバイオ LSI の液溜めに入れ、その中に ES 細胞スフェロイドを設置した。電位を $E = -0.30\text{V vs. Ag/AgCl}$ から $E = +0.30\text{V vs. Ag/AgCl}$ にステップし、ALP 活性により pAPP より生成したパラアミノフェノール (pAP; *p*-aminophenol) が電極上で酸化するとき生じる酸化電流を検出した。文献8より改変引用。

2.3 バイオ LSI の応用開発

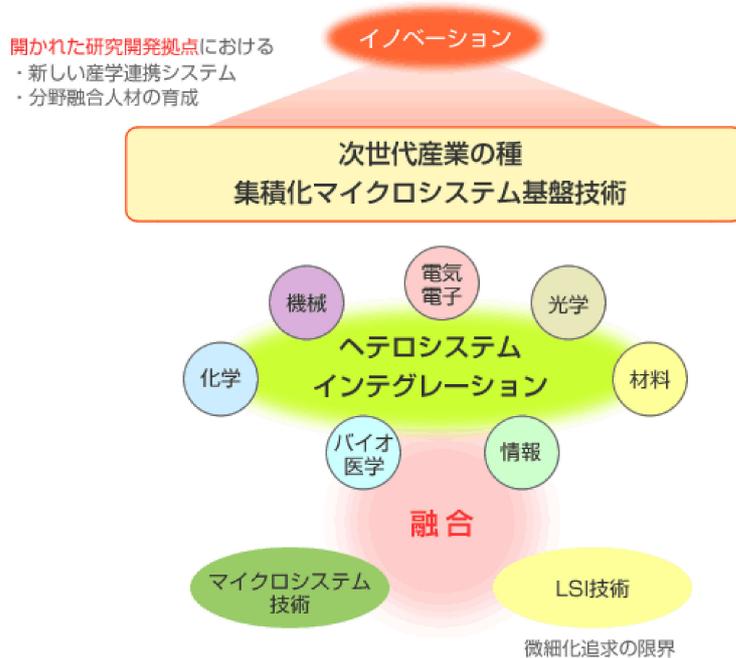
研究室では現在、バイオ LSI を用いた応用開発を進めている。Figure 4 は胚性幹細胞 (ES 細胞; embryonic stem cell) のスフェロイドの分化を評価するために、ES 細胞の分化指標であるアルカリフォスファターゼ (ALP; alkaline phosphatase) 活性をバイオ LSI で測定した結果である⁸。細胞スフェロイドの周辺電極のみ高い酸化電流応答を示し

ており、細胞のもつ ALP 活性を電流値として検出することに成功している。さらに組織や細胞の呼吸活性をバイオ LSI で計測する実験を進めており、呼吸を指標とした細胞バイアビリティアッセイにより、移植組織の評価や薬剤スクリーニング等に应用することを目指している。

3. 拠点研究の中のバイオ LSI 開発

3.1 拠点の概要とバイオ LSI 開発チーム

マイクロシステム融合研究開発拠点 (Fig. 5) は、JST の先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラムのひとつとして、2007 年 7 月から東北大学を中心にスタートした 10 年間のプログラムである。マイクロシステム融合研究開発センター (μSIC ; ミュージック) の江刺正喜センター長を中心に、「LSI と微細加工技術の融合」、「異分野融合」、「産産学協働 (複数の企業と大学の研究者が一緒になって開発を進める)」による新しい集積化マイクロシステムの研究拠点開発を進めている。融合領域は、集積化マイクロシステムを軸に、機械、電気・電子、材料、化学、電気化学、バイオ工学、医学など広範囲にわたる。最終的には、ここ仙台地域がマイクロシステム技術及び産業の集積地となり、次世代産業の種となる新たな技術開発を継続的に先導していくための開かれた拠点を形成することを目指している。このような構想は、世界中の多くの企業等が参加し、世界的な注目を集めているマイクロエレクトロニクスの研究開発拠点、ベルギーの Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC) と通じる。IMEC のような拠点が仙台で育てば、地域経済の活性化につながるのみではなく、日本の企業が欧米に負けないス



<http://www.rdceim.tohoku.ac.jp/vision.html>

Figure 5. (Color online) 東北大学マイクロシステム融合研究開発拠点のビジョン.

リードと資本，および総合的な研究開発力を持ち，強い国際的産業競争力に裏打ちされた社会を持続的かつ健全に発展させる基盤となる。

バイオ LSI は，拠点研究の中の 5 グループのうち，末永智一教授を中心とする「バイオ，医療マイクロシステムグループ」の研究によって誕生した (Fig. 6)。バイオ LSI 研究に携わっているのは我々のほか，研究顧問の松平昌昭氏，μSIC の江刺正喜教授 (センター長)，佐藤史朗特任教授 (支援総括)，協働企業の株式会社トッパン・テクニカル・デザインセンター (トッパン TDC)，日本航空電子工業株式会社，拠点に所属する複数の研究者やそれらの研究室の学生がいる。さらに，共同研究により学内外の多くの研究者と共同でバイオ LSI の研究開発を進めている。まさに，開かれた拠点研究の理念に基づく，分野の垣根を越えた多くの人たちとの協働が，世界に先駆けた「バイオ LSI」実現の基盤となった。協働によってどのようなメリットが生まれて，開発の成功につながったのか，以下に詳しく述べる。

3.2 乗合ウエハ

乗合ウエハは，本拠点研究の基本構想のひとつである。1 枚の LSI ウエハの上に複数の研究者の LSI チップを相乗りさせることで，マスクセットのみで数千万円以上する最先端 LSI を，その数分の一の値段で作製することができる。一旦マスクセットが出来上がれば，LSI の製造にはそれほどコストがかからない。たとえば，バイオ LSI のウエハは Fig. 7 のように 4 プロジェクトが相乗りしている。乗合ウエハ方式により，これまでコスト的な障壁の

ためにほとんど誰も手を出すことができなかった「LSI によるアンペロメトリックセンサアレイ」を我々は実現することができた。

3.3 乗合ウエハミーティングと協働

乗合ウエハミーティングは，LSI の仕様を決定するために協働企業や 1 枚のウエハに乗り合う研究者，および研究支援者たちが集まる打ち合わせである。異分野 (バイオ，電気化学，微細加工プロセス，回路設計，LSI 設計，ハードウェアインターフェース等々) の人々が集まることにより，ひとつの研究室内のみでは出てこないような様々なアイデアが生まれる。たとえば，バイオ LSI の I-V 変換にスイッチドキャパシタ方式を採用したのは江刺教授の発案である。また，バイオ LSI を外部電源や PC 等と接続し，誰にでも使えるような形に仕上げたのは松平研究顧問である。LSI と外部装置とのコネクタ部や，簡単に LSI 上に装着できる液溜めなどは日本航空電子が開発した。バイオ LSI では微少電流を感度よく測定するためのひとつの工夫として，リーク電流の大きな静電対策 (ESD; electro-static discharge) 素子を簡素化している²。これはトッパン TDC のアイデアである。電気化学バイオ計測とエレクトロニクスという異分野の融合には，各研究者や企業担当者のもつバックグラウンドが異なることに起因する数々の障壁が存在する。そのような中，バイオ LSI が拠点研究の中でも傑出した成果を上げているひとつの理由として，キーパーソンの存在がある。電気化学計測とエレクトロニクス回路の双方の知識を持つ松平研究顧問が，全体的なシステム最適化の調整に大きな力を発揮し

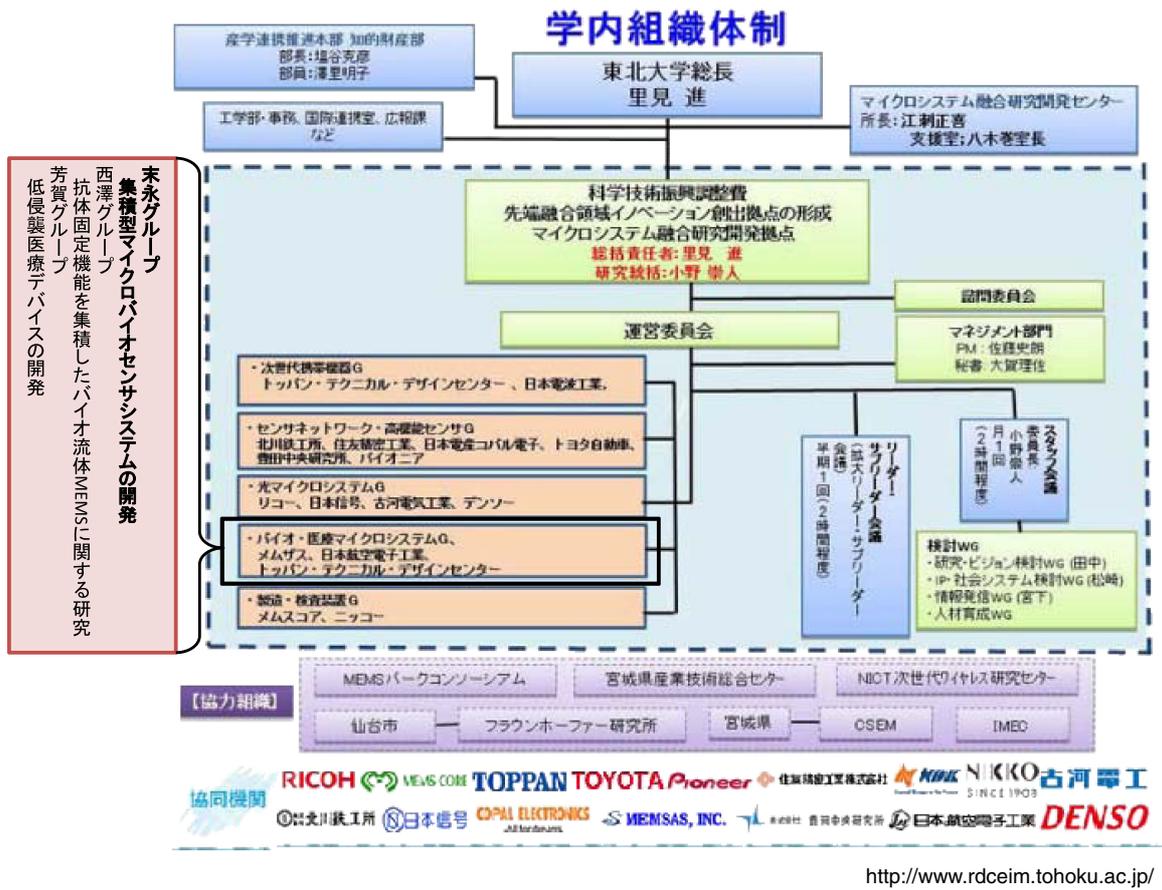


Figure 6. (Color online) 東北大学マイクロシステム融合研究開発拠点の組織体制。バイオ LSI は研究 5 グループのうち、末永智一教授を中心とする「バイオ、医療マイクロシステムグループ」の末永グループの研究で誕生した。

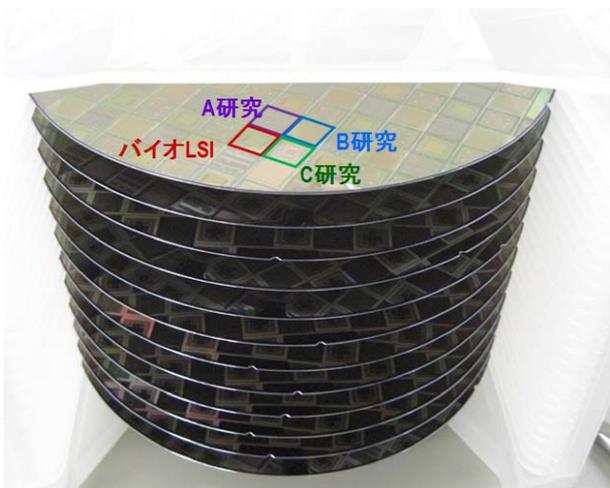


Figure 7. (Color online) バイオ LSI が搭載された乗合ウエハ。4 研究が 1 つのウエハに乗り合うことで、LSI 製造の大幅なコスト削減が達成され、バイオ LSI が実現した。

ている。これらの多くの人々の協働により、高性能なバイオ LSI が実現した。

3.4 共同利用施設

東北大学には、長年かけて江刺教授が中心となって整備した微細加工のための共同利用施設が数多くある。旧江刺研究室（現田中研究室）のクリーンルーム、東北大学

大学院工学研究科附属マイクロ・ナノマシニング研究教育センター、西澤潤一記念研究センターにある半導体試作開発ライン「試作コインランドリ」は広く開放された研究施設で、これだけの充実した設備は国内外でもトップクラスである。拠点研究はこれらの共同利用施設の上に成り立っている。施設は受益者負担で自由に利用することができる。我々のバイオ LSI 研究において、LSI の上に微細な構造を作って電気化学測定のための電極アレイとするには、研究室にある装置のみでは難しい。これらの共同利用施設を利用できることで、効率的な開発を進めることが可能になっている。

共同利用施設は、装置が利用できるというハード面のメリットのみでなく、他の研究者から様々な技術を学んだり、情報交換をしたりすることができるソフト面のメリットも大きい。施設内の装置を新たに使いたい場合、各装置担当の教員や学生からその使い方を教わる。そのときに、装置の使い方のみでなく、現在行き詰まっているプロセスについて相談したりすると、いろいろな解決策が挙がったり、お互いに同じ問題を抱えていて協力しあったりすることができる。このようないわゆる草の根の研究者同士のつながりが、異分野融合の研究であるバイオ LSI 開発において大きな力になっている。

3.5 拠点内外の共同研究

バイオ LSI 研究では、広範囲な応用展開を推進するため、拠点内外の研究者との共同研究を行っている。拠点

内では微細加工プロセスを専門とする研究者らとともに、バイオ LSI 上に炭素電極を作製することを試みている。拠点外では、電気化学的手法を用いたセンシング法の研究を行っている複数の研究者にバイオ LSI システムを貸し出して、バイオ LSI の応用開発を進めている。これらの共同研究によって産業化に有望な応用用途が見つければ、それに特化した開発を企業中心に進める予定である。例えば、流路システムを兼ね備えたチップや、インキュベーターにも入るような小さなパッケージのシステムの開発などが挙がる。このような取り組みを円滑に推進するために、特に拠点外との共同研究には、拠点の協働企業が構想段階から参加している。現在も貸出し用のバイオ LSI システムを準備して、共同研究先を募集している。

3.6 情報発信

バイオ LSI は汎用計測プラットフォームであり、応用展開を推進するためにも、広く情報発信を行い、利用用途の開拓に努めている。年に一度開催される拠点における公開成果発表会である「マイクロシステム融合研究開発拠点発表会」、年に数回開催される「マイクロシステム融合研究会」、月 1 回の拠点関係者の研究会「先端融合推進研究会」、各種学会での発表のほか、国際計量計測展 (2010 年 11 月東京ビッグサイト) やバイオジャパン (2012 年 10 月パシフィコ横浜) 等の展示会にも積極的に参加し、実機展示および成果紹介を行っている。また、2012 年 6 月にはプレスリリースを行い、日刊工業新聞 (2012 年 6 月 21 日) や科学新聞 (2012 年 7 月 6 日) にバイオ LSI の記事が掲載された。

4. バイオ LSI 研究の現在の広がりと展望

バイオ LSI 研究は、拠点研究の中でも大きな成果を挙げているリーディングプロジェクトである。研究室内の応用研究が進む一方、幅広い分野の研究者と共同研究を行い、成果が挙がりつつある。今後もバイオ LSI の高機能化を図りながら利用用途を拡充する一方、産業化に有望な応用用途に絞って、企業を中心に製品開発を進める予定である。このような産業化へ向けた取り組みを推進するために、アドバイザーとして医療診断装置などに関する企業経営の専門家を加え、今後の製品化への展開がスムーズに進むような体制構築を図っている。

5. おわりに

東北大学には「世界と地域に開かれた大学」の伝統がある。バイオ LSI はこの伝統の流れを汲んだ「マイクロシステム融合研究開発拠点」で誕生した。本拠点が、ここ仙台で複数の企業や大学の知の結集を可能とする「場」となり、日本の企業が欧米に負けないスピードと総合的な研究開発力で強い国際競争力を持つ力となれば、今後の東北の復興、日本の再生に大きく貢献するだろう。異分野融合と協働から生まれたバイオ LSI が、拠点研究のリーディングプロジェクトとして、今後、医療、バイオ等に実際に役立つセンサとして実用化するよう、今後さらにも多くの人と協働をしながら研究開発を進めてゆきたい。

文 献

1. K. Y. Inoue, M. Matsudaira, R. Kubo, M. Nakano, S. Yoshida, S. Matsuzaki, A. Suda, R. Kunikata, T. Kimura, R. Tsurumi, T. Shioya, K. Ino, H. Shiku, S. Satoh, M. Esashi, and T. Matsue, *Lab Chip*, **12**, 3481 (2012).
2. 国立大学法人東北大学, 日本航空電子工業株式会社, 凸版印刷株式会社. 複数の電極を備えた IC チップ. 特開 2013-092437. 2013-5-16.
3. a) T. Yasukawa, T. Kaya, and T. Matsue, *Electroanalysis*, **12**, 653 (2000). b) H. Shiku, T. Takeda, H. Yamada, T. Matsue, and I. Uchida, *Anal. Chem.*, **67**, 312 (1995). c) Y. Takahashi, A. I. Shevchuk, P. Novak, Y. Murakami, H. Shiku, Y. E. Korchev, and T. Matsue, *J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 10118 (2010). d) Y. Takahashi, T. Miyamoto, H. Shiku, R. Asano, T. Yasukawa, I. Kumagai, and T. Matsue, *Anal. Chem.*, **81**, 2785 (2009).
4. a) K. Ino, W. Saito, M. Koide, T. Umemura, H. Shiku, and T. Matsue, *Lab Chip*, **11**, 385 (2011). b) K. Ino, Y. Kanno, T. Nishijo, T. Goto, T. Arai, Y. Takahashi, H. Shiku, and T. Matsue, *Chem. Commun.*, **48**, 8505 (2012).
5. a) L. Berdoncini, K. Imfeld, A. Maccione, M. Tedesco, S. Neukom, M. Koudelka-Hep, and S. Martinoia, *Lab Chip*, **9**, 2644 (2009). b) A. L. Ghindilis, M. W. Smith, K. R. Schwarzkopf, K. M. Roth, K. Peyvan, S. B. Munro, M. J. Lodes, A. G. Stöver, K. Bernards, K. Dill, and A. McShea, *Biosens. Bioelectron.*, **22**, 1853 (2007).
6. J. Rothe, M. K. Lewandowska, F. Heer, O. Frey, and A. Hierlemann, *J. Micromech. Microeng.*, **21**, 054010 (2011).
7. a) M. Schienle, C. Paulus, A. Frey, F. Hofmann, B. Holzapfl, P. Schindler-Bauer, and R. Thewes, *IEEE J. Solid-State Circuits*, **39**, 2438 (2004). b) P. Kruppa, A. Frey, I. Kuehne, M. Schienle, N. Persike, T. Kratzmueller, G. Hartwich, and D. Schmitt-Landsiedel, *Biosens. Bioelectron.*, **26**, 1414 (2010).
8. M. Sen, K. Ino, K. Y. Inoue, T. Arai, T. Nishijo, A. Suda, R. Kunikata, H. Shiku, and T. Matsue, *Biosens. Bioelectron.*, **48**, 12 (2013).



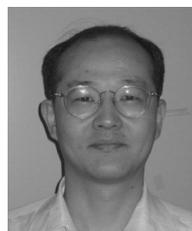
井上 久美 (東北大学マイクロシステム研究開発センター・助教)

1971 年生。1995 年 3 月京都大学農学部農芸化学科卒業。2010 年 8 月東北大学大学院環境科学研究科博士課程修了, 博士 (学術)。1995–2005 年宮城県味噌醤油工業協同組合。2005 年 2 月より東北大学非常勤職員。2013 年 4 月より現職。専門分野: 電気分析化学, バイオセンサ。趣味: スキー, ピアノ演奏, 旅先での散策。



伊野 浩介 (東北大学大学院環境科学・助教)

1981 年生。2008 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了, 博士 (工学)。第 18 回青葉工学研究奨励賞, 平成 24 年度化学とマイクロ・ナノシステム研究会若手優秀賞。専門分野: 生物工学, バイオ MEMS。趣味: 子育て。



珠玖 仁 (東北大学大学院環境科学・准教授)

1970 年生。1997 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士課程修了, 博士 (工学)。2004 年電気化学会佐野賞, 2009 年文部科学大臣表彰 (若手科学者賞), 2009 年市村学術賞 (貢献賞)。専門分野: 生物電気化学。趣味: 合気道。



末永 智一 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR)・教授)

1954 年生。1981 年 3 月東北大学大学院薬学研究科博士課程修了。その後, 博士研究員, 助手, 助教授を経て 1999 年東北大学大学院工学研究科教授。2011 年より現職。2002 年電気化学会学術賞, 2011 年日本化学会学術賞。専門分野: 電気化学, ナノ・マイクロ工学。趣味: ドライブ, 食べ歩き。