静磁界曝露の細胞移動への影響

非会員 橋本 祐一朗* 非会員 川澄 正史*
正 員 斎藤 正男*

Effect of Static Magnetic Field on Cell Migration

Yuichiro Hashimoto*, Non-member, Masashi Kawasumi*, Non-member, Masao Saito*, Member

The effect of magnetic field on cell has long been investigated, but there are few quantitative investigations of the migration of cells. Cell-migration is important as one of the fundamental activities of the cell. This study proposes a method to evaluate quantitatively the cell-diffusion constant and the effect of static magnetic field on cell migration. The cell-lines are neuroblastoma (NG108-15), fibroblastoma (NIH/3T3) and osteoblastoma (MC3T3-E1). The static magnetic field of 30 mT or 120 mT is impressed by a permanent magnet in vertical or horizontal direction to the dish. It is shown that the cell-diffusion constant can represent the cell migration as the cell activity. It is found that the cell migration is enhanced by exposure to the magnetic field, depending on the kind of cell. It is conjectured that the effect of static magnetic field affects the cell migration, which is at the downstream of the information transmission.

キーワード：静磁界，細胞移動，細胞拡散係数

Keywords：static magnetic field, cell migration, cell-diffusion constant

1. まえがき

磁界の生体影響は厳密には解明されていないが、疫学研究⁽¹⁾⁽²⁾を基に、WHO は磁界による人体への影響の可能性を発表した⁽³⁾。磁界による人体影響の実験的な裏付けとして1992年から米国 EMF-RAPID と NIHES (国立環境健康科学研究所)で大規模な細胞レベルの研究が行われた⁽⁴⁾。その結果、磁界は人体にとって安全であるとはいえないが、磁界作用は弱く、人体への影響はあるとしても検出できない程度であるとされ、明確な磁界影響は不透明なままであった⁽⁵⁾。

これまでの細胞レベルの研究報告から、磁界による細胞への影響がいくつか明らかになった⁽⁶⁾。例えば、オルニチンデカルボキシラーゼ(Ornithine Decarboxylase:ODC)活性の促進⁽⁷⁾、カルシウムイオンの増加⁽⁸⁾が報告されている。細胞内の情報伝達は、複雑な相互作用を持つ。よって、磁界の生体影響を解析するには、生体の最小単位である細胞レベルで厳密かつ再現性の高い実験により、基本的な細胞活動とメカニズムまで踏み込んだ検討が重要である。

細胞に対する磁界研究では、強磁界(テスラレベル)と微弱磁界(マイクロテスラレベル)の磁界強度が利用されることが多い⁽⁹⁾。例えば、強磁界曝露による報告では、細胞が磁界方向に配向する現象⁽¹⁰⁾や、骨形成の促進⁽¹¹⁾がなされた。微弱磁界では、遺伝子の転写ミス⁽¹²⁾、HSP の誘発⁽¹³⁾などに影響することが報告されたが、再現性に乏しいため十分な検討が必要な状況になっている。しかし、中程度磁界(ミリテスラレベル)を用いた報告は少なく、窓効果⁽¹⁴⁾などの興味深い現象が報告されている。

細胞レベルの磁界研究は、骨形成、蛋白質などへの影響については解析が進んでいるが、細胞外から顕微鏡にて観察可能な細胞活動、特に代表的である細胞移動は、定量的な評価が少ない。今までの細胞移動の研究では、シャーレ内の細胞単体(1~数個)に着目し、追跡して考察されていた⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。結果の一例として、14~54Hz、100 μ T の磁界曝露を行い、細胞の移動速度、移動距離に変化があることを報告した⁽¹⁵⁾。

特定の細胞の追跡も重要であるが、細胞は、細胞周囲のイオン濃度や細胞同士の情報通信、外的因子の影響を受けつつ移動する⁽¹⁷⁾ため、細胞ごとに活動のばらつきが大きいことから、細胞単体では磁界影響の評価が難しくなる。すなわち、細胞移動は細胞単体で評価すると確率論的に振舞うように観察されることから、細胞単体ではなく、細胞群

* 東京電機大学大学院 工学研究科 情報通信工学専攻
〒101-8457 東京都千代田区神田錦町 2-2
Tokyo Denki University
Department of Information and Communication
Engineering
2-2, Kanda Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8457

としての細胞移動を評価することが重要であると考え。以上のことから、細胞移動を定量的に評価するためにシャーレ内の細胞すべてを細胞全体と定義し、検討の対象とすることが適切であると考え。

本研究は、細胞移動量の指標として、新たに細胞拡散係数を提案する。実験においては、シャーレ底面に培養された細胞の一部分を剥離した後、その周囲から剥離部へ移動してくる移動量を観察し、細胞拡散係数を求め、細胞移動への静磁界の影響を考察することを目的とする。

2. 実験条件

(2・1) 使用細胞 神経芽細胞腫(NG108-15)、繊維芽細胞(NIH/3T3)および骨芽細胞(MC3T3-E1)を用いた。NG108-15 株は、マウス神経芽腫のグリオーマ C6Bu-1(チミジンキナーゼ失損、プロモデオキシウリジン抵抗株)細胞とマウス神経芽腫の N18TG-2 をセンダイウィルス(HVJ)を利用して作られた雑種細胞である⁽¹⁸⁾。NG108-15 株は、状態に応じ形態を著しく変化させ、神経細胞であるために軸索を伸ばすことから、顕微鏡による観察が容易である。NIH/3T3 細胞は、NIH/Swiss マウスの胎児由来である⁽¹⁸⁾。MC3T3-E1 細胞は、新生児 C57BL/6 マウス頭蓋冠由来である⁽¹⁸⁾。

(2・2) 培養環境 培養液は、日水製薬株式会社製ダルベッコ変法イーグル培地(NaHCO_3 , L-グルタミン不含)に牛胎児血清(FBS) 8%, L-グルタミン, HAT を添加し、 NaHCO_3 で pH7.2 に調整したものを用いた。

血清濃度を 8% に設定した理由は、実験期間中の細胞の飽和、および接触障害をおこさない良好な細胞状態を保つためである。培養は、 37°C , CO_2 濃度 5% の一定環境のインキュベータ内で行った。

(2・3) 細胞培養方法 NG108-15 株は、付着性細胞であるが接着力が弱く、ピペッティングによる水流によって細胞がシャーレから剥がれてしまう。よって、コーゲンコーティングのシャーレを用い、培養作業による影響を排除した。NIH/3T3 および MC3T3-E1 細胞は、接着力が強いので、コーティングされていないシャーレを用いた。培養は、細胞が安定した状態にするために、実験を開始するまでに培養期間を設け、試料間の差を最小限にした。

(2・4) 磁界曝露方法 磁界曝露は、シャーレの中央部にて磁界強度 30 mT および 120 mT になる永久磁石を用いた。磁界作用のみを検討するためには、誘導電流の影響を避け、ジュール熱の影響を除外できる永久磁石が最も望ましい。磁界曝露方向は、図 1 のようにシャーレ底面に対して磁界が垂直、又は平行方向の 2 通りとした。

垂直磁界曝露では、細胞が付着性細胞であるため、垂直方向に磁界曝露する。垂直磁界曝露の永久磁石は、ドーナツ型を用いることで顕微鏡の観察範囲が確保され、磁界刺激をしたまま観察が可能となる。よって視野外の永久磁石上は 50mT、中央部が 30mT と僅に磁界勾配が発生するが、垂直磁界曝露は、ほぼ均一に磁界曝露すると定義する。

図 1 磁界曝露方法

Fig. 1. Exposure to magnetic field.

平行磁界曝露では、シャーレ側面から磁界を曝露する。平行磁界曝露の永久磁石は、サイコロ型を用いる。シャーレ側面部の磁界が強く 300 mT、中央部が 30 mT となる磁界勾配が発生する。

細胞は温度変化によって接着性が変化⁽¹⁹⁾するため、実験開始前に磁石を培養環境の 37°C と熱平衡状態にして温度による擾乱を排除した。

3. 実験方法

実験方法を図 2 に示す。実験は、適度に培養した 1 枚のシャーレから株分けした細胞を用いた。直径 35 mm のシャーレを複数用意し、同数の細胞をそれぞれに播き込み、シャーレに細胞が満たされるまで 3 日間程度培養した。細胞で満たされたシャーレの中央部の細胞を、顕微鏡の観察視野に収まる 1mm^2 以内に剥離し、実験を開始した。細胞の剥離は、剥離部を正確に作成するために顕微鏡観察下にてプラスチックニードルを用い、シャーレ底面に傷をつけないように行った。シャーレ底面の傷は、細胞移動に影響を及ぼすため実験結果の擾乱となるが、トリプシン等の酵素を利用することによる細胞への影響よりは物理的外力による方が、細胞への影響が小さいことと、すべての細胞で同じ剥離方法を適用できることから、プラスチックニードルを用い、細心の注意を払って行うことが適切だと考えた。

剥離部は、同心円状に剥離した。剥離部を円状に作成することは、観察視野内で、細胞間コミュニケーションなどの細胞内の相互作用を均一にできる利点がある。これにより、シャーレ内の細胞全体としての細胞移動が結果に反映される。

使用した機器を図 3 に示した。観察方法は、CCD カメラと倒立型位相差顕微鏡に備付け可能なインキュベータを用いた。実験環境は培養環境を 37°C , CO_2 濃度 5% と同じ状態にすることで、観察期間中の環境からの擾乱を含むことなく細胞移動を連続的に観察できる。

さらに厳密に磁界影響のみを観察するため、光の影響にも着目し、撮影時以外では細胞に顕微鏡の照射光が当たら

図 2 実験方法

Fig. 2. Method of experiment.

図 3 観察環境

Fig. 3. Experimental setup.

ないようにした。観察は実験開始から 1 分毎に行い、撮影画像をリアルタイムでパソコンに取り込み、オフラインで解析を行った。観察期間は、短期間の磁界影響を検討するために 4 時間とした。

細胞拡散係数は、細胞移動を観察のみで算出した。細胞移動への影響として、細胞増殖の影響で細胞が押し出されることが予測されるが、実験期間を 4 時間とすることで細胞増殖による影響を排除できる。細胞移動への磁界影響の検定は t 検定を用い、危険率 5 % を満たしているものを有意差有りとした。

4. 細胞拡散係数

シャーレ内の細胞の環境を考えると、細胞 1 個は、周囲の複数の細胞から発せられる刺激因子や培養環境中の環境因子により影響される。すなわち細胞移動は、特別な環境を設定しない状態ではランダムな活動として捉えられる。その場合、細胞 1 個ではなくシャーレ内の細胞すべてで考察することで、刺激に対する反応が得られると考える。観

図 4 細胞拡散係数の定義

Fig. 4. Definition of Cell-diffusion constant.

察から細胞移動を考察するために、2 次元平面上の細胞拡散係数を提案する。

本研究は、細胞移動を細胞密度の濃度勾配に従う巨視的な現象と定義する。細胞拡散係数を式(1)、実験による細胞拡散係数の定義を図 4 に示す。実験開始時の視野内の細胞面積を初期状態とし、その後撮影を一定時間ごとに行う。

$$J = D \frac{C_0 - C_1}{d} \quad (1)$$

J : 単位線分長を横切る細胞の流れ [cells/mm・h]

D : 細胞拡散係数 [mm²/h]

C₀—C₁ : 拡散領域両端の細胞密度差 [cells/mm²]

d : 等価的な拡散領域幅 [mm]

細胞拡散係数の算出は次のように行った。細胞がない部分を、同心円状に近似する。つまり、A 円は初期剥離部となり、B 円はある時間における剥離部に移動してきた細胞を基準として面積を算出したものとなる。A 円と B 円の間を拡散領域とし、両円間の距離を拡散距離 d とする。

拡散領域外側の細胞密度 C₀ は、初期細胞密度が反映され、実験期間中は一定とした。拡散領域の細胞密度 C₁ は、細胞が単層に分布することを考慮し、初期状態の A 円面積と、ある時間の B 円面積の差分を行い、平均した値として用いた。J は、ある時間における全視野内の細胞移動の量を示す。視野内における細胞移動の量を求めるために、全視野面積の細胞がどの程度剥離部に移動したのかを示している。円の近似は、手で設定しているため多少厳密性が欠けるが、細胞移動や剥離部が極端にいびつでないかぎり、結果に大きな影響はないと考える。

細胞拡散係数の算出は、細胞面積を時間差 30 分間隔の差分から求め、細胞密度に換算した。細胞拡散係数は、30 分ごとに離散的に計算したが、変化の傾向を明確にするために線形近似した。以上により、細胞拡散係数によってシャーレ中の細胞移動を、ありのままの姿に近い状態で連続的に観察することができる。

5. 実験結果

観察例として繊維芽細胞の非磁界曝露群および垂直磁界曝露群 30mT, 120mT を図 5 に示す。神経芽細胞腫の細胞拡散係数（磁界強度 30mT, 120mT）を図 6, 7 に示す。繊維芽細胞の細胞拡散係数（磁界強度 30mT, 120mT）を図 8, 9 に示す。骨芽細胞の細胞拡散係数（磁界強度 30mT, 120mT）を図 10, 11 に示す。

図 5 より繊維芽細胞が剥離部に移動することがわかる。そして図中の(a), (b)より磁界曝露により細胞が速く移動していることがわかる。これは、神経芽細胞腫、骨芽細胞も同様であった。確認のために細胞数を調べたが、実験前後の測定では細胞増加はみられなかった。

図 6 ~ 11 に細胞拡散係数を示し、平均値と標準偏差を示した。図は、縦軸の細胞拡散係数が大きいほど細胞移動が速いことを示している。

細胞拡散係数から、磁界により細胞移動が促進される傾向であることがわかる。磁界により神経芽細胞腫および繊維芽細胞は、すべての磁界曝露方法にて有意に細胞移動が 31~418 %促進された。骨芽細胞は、垂直磁界曝露群 30mT

および平行磁界曝露群 120mT は、30~40%程度抑制され、垂直磁界曝露群 120mT および平行磁界曝露群 30mT は、120%~130%程度促進された。

6. 考 察

本研究は細胞拡散係数を提案し、細胞移動への静磁界の影響を考察した。図 5 の顕微鏡画像による観察から、垂直および平行磁界曝露の方向の違いによる細胞移動の差は、確認できなかった。すなわち磁界強度 30mT および 120mT では、曝露方向による細胞移動の方向性に対して影響はないことが示唆された。

磁界曝露群における各細胞種の細胞拡散係数には、次の結果が得られた。

- a) 神経芽細胞腫：すべての磁界強度に対して促進。
- b) 繊維芽細胞：すべての磁界強度に対して促進。
- c) 骨芽細胞：磁界強度による促進および抑制。

細胞拡散係数の細胞種の違いによる変化は、細胞種における細胞移動の役割の違いを反映していると考えられる。神経芽細胞腫は、周囲の細胞とのコミュニケーションが重要である⁽²⁰⁾。さらに、すべての磁界曝露方向で細胞移動の促進より、磁界の感受性が強いと推定される。

繊維芽細胞は、損傷部位を修復することが主な役割である⁽²⁰⁾。非磁界曝露群の細胞拡散係数は、今回の細胞種の中で大きいことから繊維芽細胞の細胞移動が速いことがわかった。

骨芽細胞は、骨形成が役割で、細胞移動はさほど重要でない。骨形成は時間的に緩やかな活動⁽²¹⁾であるため、細胞移動も遅いことが推定できるが、磁界により移動は速くなった。磁界は、緩やかな移動をする細胞でも移動を促進させることが可能であると推定できる。

2つの磁界強度による影響は、細胞種により磁界感受性の違いがあることを示唆した。神経芽細胞種および繊維芽細胞は、磁界強度 30mT において最も促進する。骨芽細胞は、磁界強度 30mT でも、曝露方向の違いにより促進が違う。また、神経芽細胞腫は垂直磁界曝露群、繊維芽細胞は平行磁界曝露群、骨芽細胞は曝露方向の違いにより促進の大きさが変化した。垂直磁界曝露群は、シャーレ底面から均一に磁界曝露される。

以上の結果と他の磁界研究の報告との関係より、磁界曝露による細胞移動への影響のメカニズムを推定する。細胞が移動するためには、細胞骨格の活動がなければならない。細胞骨格の活動は、細胞内のミトコンドリアが産生する ATP によって支えられる⁽²⁰⁾。磁界を曝露すると ATP の生産を担当するミトコンドリアが、核から細胞膜へ向かって広がり⁽²²⁾、細胞代謝の指標となる細胞呼吸が促進され⁽²³⁾、コラーゲン分泌量が変化し⁽²⁴⁾、細胞接着能力および細胞骨格自体が変化する⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾と報告されている。本研究より、磁界は ATP 産生を増加させ、細胞骨格、コラーゲン分泌量を変化し、その結果として細胞活動の下流に位置する細胞移動を変化させると考察する。

図 5 細胞移動の観察例（繊維芽細胞）

Fig. 5. State of cell migration (Fibroblastoma).

図6 細胞拡散係数 (神経芽細胞腫, 磁界強度 30mT)
Fig. 6. Cell-diffusion constant (Neuroblastoma, magnetic field 30mT).

図7 細胞拡散係数 (神経芽細胞腫, 磁界強度 120mT)
Fig. 7. Cell-diffusion constant (Neuroblastoma, magnetic field 120mT).

図8 細胞拡散係数 (繊維芽細胞, 磁界強度 30mT)
Fig. 8. Cell-diffusion constant (Fibroblastoma, magnetic field 30mT).

図9 細胞拡散係数 (繊維芽細胞, 磁界強度 120mT)
Fig. 9. Cell-diffusion constant (Fibroblastoma, magnetic field 120mT).

図10 細胞拡散係数 (骨芽細胞, 磁界強度 30mT)
Fig. 10. Cell-diffusion constant (Osteoblastoma, magnetic field 30mT).

図11 細胞拡散係数 (骨芽細胞, 磁界強度 120mT)
Fig. 11. Cell-diffusion constant (Osteoblastoma, magnetic field 120mT).

7. むすび

本論文では、細胞移動に関する新しい評価手法である細胞拡散係数を提案した。細胞移動は、シャーレ中の細胞すべてに着目し、拡散現象として2次元平面上の拡散係数を導入し、定量的に解析し、細胞移動を定量的に評価するために、細胞拡散係数の定義がほぼ妥当であることを示した。手法によりシャーレ中の細胞移動を、ありのままの姿に近い状態で、連続的に考察できることを示した。

提案した手法を用いて、細胞移動への静磁界の影響を考察した結果、使用したすべての磁界強度に対して細胞移動が促進する傾向が得られた。以上の結果より、磁界は細胞移動を促進すると考える。

(平成 16 年 1 月 5 日受付, 平成 16 年 6 月 21 日再受付)

文 献

- (1) A.Ahlbom, N.Day, M.Feychting, E.Roman, J.Skinner, J.Dockerty, M.Linet, M.McBride, J.Michaelis, J.H.Olsen, T.Tynes, and P.K.Verkasalo: "A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia", *British J of Cancer*, Vol.85, No.5, pp.692-698 (2000)
- (2) S.Greenland, A.R.Sheppard, W.T.Kaune, C.Poole, and M.A.Kelsh: "A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia", *Epidemiology*, Vol.11, No.6, pp.624-634 (2000)
- (3) Electromagnetic field and public health, Fact Sheet, N°263, WHO (2001-6)
- (4) Walter rogers: National research council reviews, EMF-RAPID (1999)
- (5) Moulder.J.E: The electric fields and magnetic fields research and public information dissemination (EMF-RAPID) program, *Dadiat.Res*, Vol.153, pp.613-616 (2000)
- (6) 武部 啓・志賀 健・加藤正道・正田英介: 電磁界の健康影響, 文光堂, p.83; pp.106-114 (1999)
- (7) V.C.Byus, E.S.Pieoer, and R.W.Adey: "The effects of low-energy 60 Hz environmental electromagnetic fields upon the Growth-related enzyme ornithine decarboxylase", *Carcinogenesis*, Vol.8, pp.1385-1389 (1987)
- (8) J.Walleczek and P.R.Liburdy: "Nothermal 60 Hz sinusoidal magnetic-field exposure enhances $^{45}\text{Ca}^{2+}$ uptake in rat thymocytes: dependence on mitogen activation", *FEBS Lett*, No.271, pp.157-160 (1990)
- (9) 武部 啓: 電磁場による突然変異と遺伝子発現促進の機構, 科研費基盤研究(A), 08408020 (1998)
- (10) S.Guido and T.R.Tranquillo: "A methodology for the systematic and quantitative study of cell contact guidance in oriented collagen gels. Correlation of fibroblast orientation and gel birefringence", *J.Cell Sci.*, Vol.105, pp.317-331 (1993)
- (11) H.Kotani, H.Kawaguchi, T.Shimooka, M.Iwasaki, S.Ueno, H.Ozawa, K.Nakamura, and K.Hoshi: "Strong static magnetic field stimulates bone formation to a definite orientation in vitro and in vivo", *J.Bone Miner.res.*, Vol.17, No.10, pp.1814-1821 (2002)
- (12) R.Goodman and A.S.Henderson: "Transcription and translation in cells exposed to extremely low frequency electromagnetic field", *Bioelectrochem. Bioenerg.*, Vol.25, pp.335-355 (1991)
- (13) R.Goodman, M.Blank, H.Lin, R.Dai, O.Khorkova, L.Soo, D.Weisbrot, and A.Henderson: "Increased levels of hsp70 transcripts induced when cells are exposed to low frequency electromagnetic fields", *Bioelectrochem. Bioener.*, Vol.33, pp.115-120 (1994)
- (14) 松永俊二: 理化学研究所考案の PEMFs 法の基礎と臨床, *MB Orthop.*, Vol.6, pp.69-77 (1993)
- (15) I.Spindiger, D.Agnew, and B.Palcic: "3T3 cell motility and morphology before, during, and after exposure to extremely low-frequency magnetic fields", *Bioelectromagnetics*, Vol.16, pp.178-187 (1995)
- (16) L.K.Andrei and R.P.Howard: "Extremely low frequency pulsed DC electric fields promote neutrophil extension, metabolic resonance and DNA damage when phase-matched with metabolic oscillators", *Biochimica et Biophysica acta*, Vol.1495, pp.90-111 (1999)
- (17) B.Alberts, D.Bray, J.Lewis, M.Raff, K.Roberts, and J.D.Watson: 中村桂子・藤山秋佐夫・松原謙一 (訳): 細胞の分子生物学第3版, p.847; p.1055, 教育社 (1997)
- (18) 瀬野悍二・黒木登志夫: 研究テーマ別 動物培養細胞マニュアル, No.306, pp.112-113; pp.29-30, 共立出版 (1993)
- (19) 大和雅之・串田 愛・岡野光夫: 温度応答性インテリジェント培養皿による細胞の接着・脱着制御と細胞シート工学, 蛋白質 核酸 酵素, Vol.45, No.10, pp.1766-1772 (2000)
- (20) B.Alberts, D.Bray, J.Lewis, M.Raff, K.Roberts, and J.D.Watson: 中村桂子・藤山秋佐夫・松原謙一 (訳): 細胞の分子生物学第3版, p.1179; pp.723-725; pp.834-853, 教育社 (1997)
- (21) B.Alberts, D.Bray, A.Johnson, J.Lewis, M.Raff, K.Roberts, and P.Walter: 中村桂子・藤山秋佐夫・松原謙一 (訳): Essential 細胞生物学, p.615, 南江堂 (1999)
- (22) 山下和彦・齋藤大輔・水野綾子・橋本祐一郎・江村昭之・川澄正史・斎藤正男: 静磁界曝露による細胞内エネルギー変化の解析, 日本 ME 学会大会, No.42, p.435 (2003)
- (23) 山下和彦・斎藤正男: 「ミトコンドリアの代謝活性への中程度静磁界の影響」, 電学論誌 C, Vol.120, No.8/9, pp.1125-1129 (2000-8/9)
- (24) R. Mizuno, K. Yamashita, D. Saito, Y. Hashimoto, M. Kawasumi, and M. Saito: Effect of static magnetic field on cell collagen secretion, Proc. of IFMBE European Medical & Biological Engineering Conference '02, Vol.3, pp.1414-1415, Vienna, Austria (2002)
- (25) 齋藤大輔・山下和彦・水野綾子・橋本祐一郎・江村昭之・川澄正史・斎藤正男: 細胞接着過程への静磁界の作用, 第 18 回日本生体磁気学会論文集, Vol.16, No.1, pp.288-289 (2003)
- (26) 小野寿樹・斎藤正男: 「静磁界曝露下における細胞の挙動」, 電学論誌 C, Vol.122, No.9, pp.1547-1552 (2002-9)

橋 本 祐一郎

(非会員) 1978 年 12 月 25 日生。2002 年 3 月東京電機大学工学部情報通信工学科卒業。2004 年 3 月東京電機大学工学研究科情報通信工学専攻修士課程修了。現在, オリンパス株式会社。日本エム・イー学会, 生体磁気学会などの会員。

川 澄 正 史

(非会員) 1957 年 11 月 15 日生。1985 年 東京電機大学大学院工学研究科満期退学。工博 (東大)。2001 年 東京電機大学工学部教授, 現在に至る。専門は, 医用生体工学, 生体情報解析, 生活支援工学, ライフサポート学会, 日本エム・イー学会, 日本生活支援工学会などの会員。

斎 藤 正 男

(正員) 1933 年 6 月 27 日生。1962 年東京大学大学院博士課程修了。東京大学工学部講師, 助教授, 医学部教授を経て 1994 年より東京電機大学工学部教授。工博。回路システム理論, 医用生体工学の基礎研究に徒事。日本エム・イー学会会長, 国際エム・イー学会会長などを歴任。現在, 生活支援工学学会会長, IEEE フェロー。