

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007 年度－2009 年度
 課題番号：19300194
 研究課題名（和文）：運動遂行時における一次感覚野および運動前野の役割について
 －脳磁図を用いた研究－
 研究課題名（英文）：Activation of premotor and somatosensory cortexes following
 voluntary movement. -A MEG study-
 研究代表者：
 大西 秀明（ONISHI HIDEAKI）
 新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
 研究者番号：90339953

研究成果の概要（和文）：

運動遂行時に脳から発生する磁界反応を計測・解析することにより、運動遂行時の体性感覚情報処理機構を明らかにすることを目的とした研究である。ワイヤー電極を用いた単一筋の Motor point 刺激や点字様の触覚刺激などを利用して導出された体性感覚誘発磁界と自発運動時に誘発された運動関連脳磁界を比較し、運動遂行時における体性感覚情報処理過程の一部を明らかにすることができた。また光刺激を合図とした運動を行うことにより、運動開始前の脳活動の変位の一部を計測することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

MEG recordings were performed to investigate the activation of the premotor and somatosensory cortexes following voluntary movement. In this study, we used the electrical motor point stimulus and mechanical tactile stimulus with voluntary movement. As results, we clarified that the first component of the movement evoked magnetic field (MEF) was elicited by the activity of muscle spindle following muscular contraction. In addition, it was considered that the second component of MEF might be occurred by the changes in the displacement of the skin according to voluntary movement.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	800,000	240,000	1,040,000
20 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
19 年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
年度			
総計	9,000,000	2,700,000	11,700,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：脳磁図，運動前野，運動感覚

1. 研究開始当初の背景

近年の医療工学技術の著しい発展に伴い、脳磁図 (MEG)、陽電子放射断層撮影 (PET)、

機能的核磁気共鳴断層撮影 (fMRI)、近赤外分光法 (NIRS) などを利用して脳活動を非侵襲的かつ正確に計測することが可能とな

った。各計測装置にはそれぞれ特徴があり、脳波やMEGは脳細胞の活動を直接計測しているため著しく時間分解能が高く、ミリ秒単位での脳活動を解析することができる。さらにMEGは、頭蓋骨や頭皮、髄液等の影響を受けにくく、電流発生源の同定には脳波よりも優れていると言われている。しかし、MEG計測は身体拘束が大きいことや、ごく僅かな頭部の動きが脳磁界に影響を与えること、計測室（シールドルーム）内では金属類を使用できないなどの理由から、視覚刺激や聴覚刺激、体性感覚刺激などによる誘発脳磁界に関する研究報告が多く、運動時の脳磁界に関する研究報告は少ないのが現状である。

運動関連脳磁界についての報告は、1972年のCohen Dら（Science）による報告が最初である。その後1980年代にDeecke Lら（Exp Brain Res, 1982）やCheyne Dら（Exp Brain Res, 1989）により報告されているものの、少数チャンネルの磁界計測装置を利用して運動時に大脳皮質活動を計測することが可能であったという内容にとどまっている。1990年代にCheyne DとFeige Rらを中心とした幾つかの報告があり、1997年にFeige Rら（Brain Res Protocols）が37チャンネルのMEGシステムを利用して運動関連脳磁界計測プロトコルと運動関連脳磁界波形の主要成分（運動準備磁界、運動磁界、運動誘発脳磁界第一成分）についてまとめている。しかし、運動時の脳磁界反応を計測するには運動課題だけでなく、使用機器などの計測環境も十分に吟味する必要があることから、運動関連脳磁界各波形における電流発生源の同定や波形成分の意義については未だ議論が続いている段階である。さらに、MEGを用いた運動前野についての研究報告はみられない。

脳血管障害や脊髄損傷などにより中枢性運動ニューロンが侵されると、日常の動作遂行能力に支障をきたすことが多い。そのため、可能な限り速やかに身体活動能力を回復させ、生活の質を改善させることを目的として効率的なリハビリテーションが行われる。しかし、リハビリテーションの主要な治療法の一つである「運動療法」については科学的根拠が乏しいのが現状であり、パフォーマンスの向上に着目した臨床的・疫学的研究と、筋機能や運動制御機構に着目した基礎的研究の両面から「運動療法」の効果について根拠を示していく必要がある。

我々は過去10年以上にわたり運動制御機構に関連する研究を継続しており、治療的電気刺激や随意運動による運動制御練習を臨床応用し、その効果について明らかにしてきた。同時に、基礎的研究において関節角度に影響されて最大筋活動レベルが変化することや、関節肢位の違いにより運動神経興奮レ

ベルが変化することを明らかにし、運動制御機構における筋・関節固有受容器の影響について電気生理学的に検討してきた。さらに、204チャンネル全頭型MEG装置を利用して、運動強度の大きさに影響されて大脳皮質一次運動野の活動が変化することや、運動直後にみられる運動誘発脳磁界第一成分が筋紡錘由来の固有感覚を反映していることなどを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、（1）運動直後に誘発される運動誘発脳磁界第一成分（MEF1）や第二（MEF2）の電流発生源および波形の意義を明確にすることと、（2）MEGを利用して運動前野の活動を計測し、視覚情報入力から運動遂行に至る脳活動過程を明らかにすることである。

3. 研究の方法

（1）実験1. 「示指伸筋 motor point (MP) 刺激による体性感覚誘発磁界と MEF1 との比較」

対象はインフォームドコンセントの得られた健常男性10名（31.8歳）であった。脳磁界計測にはNeuromag社製306チャンネル脳磁界計測装置を用い、右示指伸展自発運動時における運動誘発脳磁界（MECF）と電気刺激時による右示指伸筋MP刺激時の体性感覚誘発脳磁界（SEF）を計測した。示指伸展運動は5秒間に1回程度の頻度で自発的に行い、運動開始をトリガーとしてMRCF波形を50回以上の加算平均処理をした。SEFの計測には関節運動が起らない強度の電気刺激を利用し、SEF波形を300回以上の加算平均処理を行った。MP刺激にはウレタンコーティングのステンレススチール線（直径80 μ m）を用い、示指伸筋のみが単独で収縮する箇所を検索して電極を留置して電気刺激を行った。

（2）実験2 「触覚刺激時における SEF 波形と MEF2 との比較研究」

対象は健常男性9名（27.9歳）であり、右示指先端の触覚刺激時におけるSEFを計測・解析した。触覚刺激には非磁性体で作成された触覚刺激装置を利用し（図1）、点字様の4本のピン（ピン径1.3mm、突出量0.7mm）を利用して刺激した。

刺激条件は、4本のピンが一辺2.4mmの正方形になるように設定し、刺激周波数を0.5Hzとし、刺激持続時間を1000msとした。SEFの解析には刺激開始をトリガー

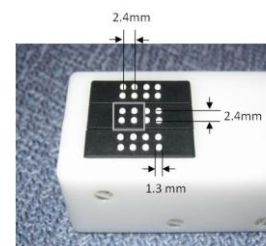


図1. 触覚刺激装置

としてオンラインで 300 回以上の加算平均を行い、1Hz から 100Hz のバンドパスフィルタ処理を行った。

(3) 実験 3. 「随意運動前の脳磁界反応の解析」

対象は健常男性 6 名であった。脳磁界の計測には 306 チャンネル全頭型脳磁界計測装置を使用した。運動課題は、自己ペースでの示指伸展運動と、光刺激を利用した Go/NoGo 課題（赤丸、青丸および赤四角の 3 種類の光をランダムに呈示し、赤丸呈示時のみ可能な限り早く示指を伸展する課題）の 2 種類とした。

4. 研究成果

(1) 実験 1

10 名の被験者全てにおいて MEF1 が明確に確認された。MEF1 の潜時は運動開始後 46.4ms (筋活動開始後約 80ms 後) であった。MEF1 の波形および示指伸筋 MP 刺激により誘発された SEF 波形を図 2 に示す。図 2 に示すように、MP 刺激時には刺激後 80ms 前後で大きな波形 (M70) が観察された。MEF1 の ECD の位置および電流の向きと、M70 の ECD の位置および電流の向きは全例でほぼ一致していた (図 3)。このことから、MEF1 は筋紡錘の活動を反映しており、活動部位は一次体性感覚野の可能性が高いことが推察された。

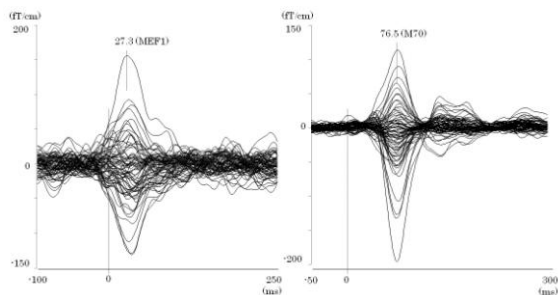


図 2. MEF1 および M70 波形の典型例

左図は随意運動直後の MEF1 を示し、右図は MP 刺激時の SEF 波形を示している。

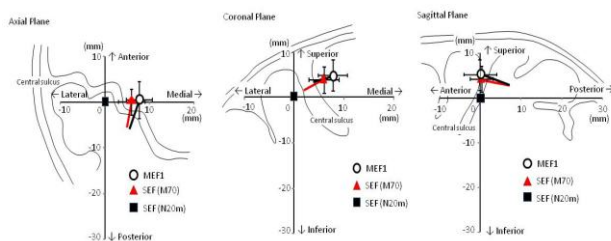


図 3. MEF1 および M70 の電流発生源

(2) 実験 2

9 人の被験者全てにおいて触覚刺激後 57.4±12.7ms と刺激解除後 56.9±13.3ms に刺激と反対側半球において明確な波形が認められた。また、触覚刺激後および刺激解除

後約 160ms 後に刺激側と同側半球に著明な活動が認められた。図 4 に 1 名の被験者から得られた SEF 波形を示している。

触覚刺激時における反対側半球で認められた ECD の位置をみると、正中神経刺激後に認められる N20m の ECD よりもやや内側後方であり、一次体性感覚野であった。また、刺激と同側半球で認められた活動は、二次体性感覚野であった (図 5)。皮膚触覚刺激時に反対側半球から得られた早期成分は、MEF2 の潜時や活動部位とほぼ同様であったことから、MEF2 は運動に伴う皮膚触覚受容器の活動を検出しているものと推察された。

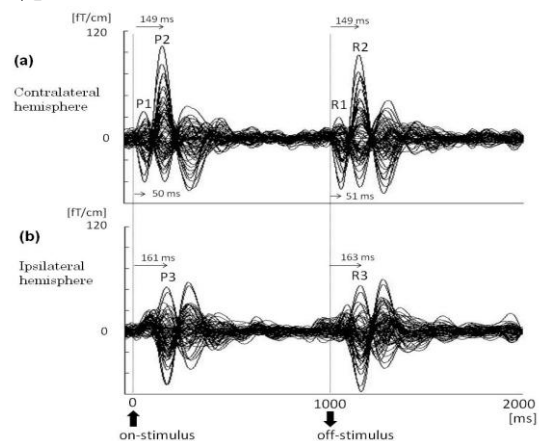


図 4. 触覚刺激時の脳磁界反応。

上段は刺激と反対側半球の活動を示し、下段は刺激と同側半球の活動を示している。

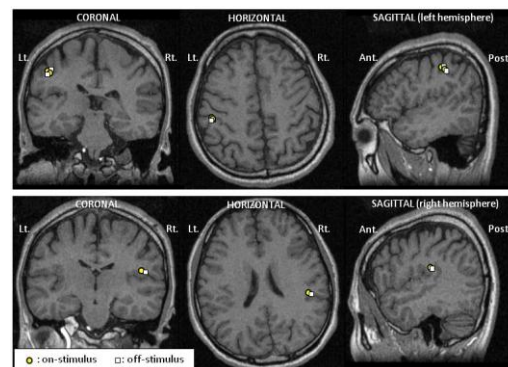


図 5. 触覚刺激時の脳活動部位。

上段は刺激と反対側半球の活動を示し、下段は刺激と同側半球の活動を示している。

(3) 実験 3

自己ペースでの運動時においては運動開始直前の運動磁場波形および運動直後の運動誘発磁場は著明であったが、運動磁場より早期成分については電流発生源が明確でなかった。一方、Go/NoGo 課題においては 6 名中 2 名で光刺激呈示 500ms 前から補足運動野付近で電流発生源を認め、他の 1 名で光刺激呈示後 150ms 前後に運動前野の活動を

認めた。図6に1名の被験者で得られたGo/NoGo課題遂行時における運動開始前の活動部位の変動を示している。

このことかGo/NoGo課題を利用することにより、運動開始前の脳活動部位の推移を解析できる可能性が示唆された。

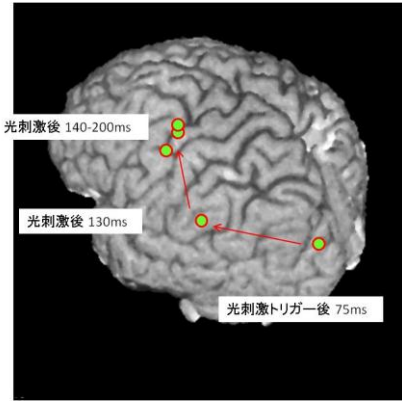


図6. 光刺激を合図としたGo/NoGo課題時における運動開始前の脳活動部位の推移。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計13件)

1. Onishi H, Oyama M, Soma T, Kubo M, Kirimoto H, Murakami A, Kameyama S: Neuromagnetic activation of primary and secondary somatosensory cortex following tactile-on and tactile-off stimulation. *Clinical Neurophysiology* 2010;121: 588-593. (査読有)
2. 岩部達也, 大西秀明, 久保雅義, 古川勝弥, 桐本光: 筋疲労課題中における大脳皮質感覚運動領野のヘモグロビン濃度変化について—近赤外分光イメージング装置による検討—. *理学療法学* 2010; 37: 35-40. (査読有)
3. 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経刺激に対する両側および一側刺激時の体性感覚誘発脳磁界. *日本生体磁気学会誌* 2009; 22: 176-177. (査読有)
4. 相馬俊雄, 大西秀明, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経への刺激持続時間の違いが体性感覚誘発脳磁界に及ぼす影響. *日本生体磁気学会誌* 2009; 22: 162-163. (査読有)
5. 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 半田康延: 尺側手根伸筋の筋活動と前腕回内外肢位との関係. *日本手の外科学会誌* 2009; 25: 606-610. (査読有)

6. Kirimoto H, Ogata K, Onishi H, Oyama M, Tobimatsu S: Transcranial direct current stimulation over premotor cortex modifies the excitability of the ipsilateral primary motor and somatosensory cortices. *IEEE/CME International congress: 2009*; 1-15. (査読有)
7. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 触覚刺激時および刺激解除時における体性感覚誘発脳磁界. *日本生体磁気学会誌* 2008; 21: 152-153. (査読有)
8. 相馬俊雄, 大西秀明, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経および尺骨神経同時刺激時の体性感覚誘発脳磁界について. *日本生体磁気学会誌* 2008; 21: 154-155. (査読有)
9. 中山裕子, 大西秀明, 中林美代子, 大山峰生, 石川知志: 肩関節挙上角度と肩甲下筋の筋活動の関係. *理学療法学* 2008; 35: 292-298. (査読有)
10. 内藤幾愛, 大西秀明, 古沢アドリアネ明美: 単純動作と複雑動作時における脳活動の比較—近赤外線分光法(NIRS)による検討—. *理学療法学* 2008; 35: 50-55. (査読有)
11. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 示指伸展運動時における運動誘発脳磁界第二成分について. *日本生体磁気学会誌* 2007; 20: 248-249. (査読有)
12. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 運動時の脳磁界反応. *理学療法科学* 2007; 22: 559-564. (査読有)
13. 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経刺激による体性感覚誘発脳磁界とM波との関係. *日本生体磁気学会誌* 2007; 20: 180-181. (査読有)

[学会発表] (計24件)

1. 大西秀明, 大山峰生, 相馬俊雄, 久保雅義, 桐本光, 大石誠, 村上博淳, 亀山茂樹: 随意運動開始前の脳磁界反応について. 第39回日本臨床神経生理学会. 2009年11月18-20日(福岡市)
2. 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 村上博淳, 亀山茂樹: 正中神経両側刺激の体性感覚誘発脳磁界. 第39回日本臨床神経生理学会. 2009年11月18-20日(福岡市)
3. 岩部達也, 大西秀明, 久保雅義, 桐本光: 筋疲労課題遂行中における大脳皮質ヘモグロビン濃度変化と筋活動量との関係. 第39回日本臨床神経生理学会. 2009年11月18-20日(福岡市)
4. 桐本光, 鈴木誠, 大山峰生, 大西秀明, 田巻弘之, 緒方勝也, 飛松省三: 一次運動野, 運動前野に対する経頭蓋直流電流

- 陰極刺激が指標追跡等速描円課題の精度に及ぼす影響. 第 39 回日本臨床神経生理学学会. 2009 年 11 月 18-20 日 (福岡市)
5. 大西秀明, 大山峰生, 相馬俊雄, 大石誠, 村上博淳, 亀山茂樹: 触覚刺激時および刺激解除時における体性感覚誘発脳磁界. 第 9 回新潟医療福祉学会. 2009 年 10 月 31 日 (新潟市)
 6. Onishi H, Soma T, Oyama M, Kirimoto H, Furusawa AA, Oishi M, Kameyama S: Activation of the primary and secondary somatosensory cortex following tactile stimulation. 14th Annual Congress of the European College of Sport Science. 2009 年 7 月 24-27 日 (Oslo/Norway)
 7. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 皮膚触覚刺激加圧時および除圧時の大脳皮質体性感覚野の活動について. 第 44 回日本理学療法学会. 2009 年 5 月 28-30 日 (東京都)
 8. 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経刺激に対する両側および一側刺激時の体性感覚誘発脳磁界. 日本生体磁気学会. 2009 年 5 月 28-29 日 (金沢市)
 9. 相馬俊雄, 大西秀明, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経への刺激持続時間の違いが体性感覚誘発磁界に及ぼす影響. 日本生体磁気学会. 2009 年 5 月 28-29 日 (金沢市)
 10. Kirimoto H, Ogata K, Onishi H, Oyama M, Goto Y, Tobimatsu S: Transcranial direct current stimulation over premotor cortex modifies the excitability of the ipsilateral primary motor and somatosensory cortices, IEEE/CME International congress. 2009 年 4 月 9-11 日 (Tempe/USA)
 11. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 示指触覚刺激時における第二次体性感覚野の磁界反応. 第 38 回日本臨床神経生理学学会. 2008 年 11 月 12-14 日 (神戸市)
 12. 相馬俊雄, 大西秀明, 大山峰生, 亀山茂樹, 大石誠: 正中神経および尺骨神経刺激同時刺激時の体性感覚誘発磁界. 第 38 回日本臨床神経生理学学会. 2008 年 11 月 12-14 日 (神戸市)
 13. 岩部達也, 大西秀明, 古川勝弥, 立石学, 中林美代子, 古沢アドリアネ明美: 筋疲労課題中における大脳皮質運動関連領野のヘモグロビン濃度変化について. 第 38 回日本臨床神経生理学学会. 2008 年 11 月 12-14 日 (神戸市)
 14. 桐本光, 緒方勝也, 大西秀明, 大山峰生, 後藤純信, 飛松省三: 運動前野への経頭蓋直流電流刺激が一次運動野及び体性感覚野の興奮性に及ぼす影響. 第 38 回日本臨床神経生理学学会学術大会. 2008 年 11 月 12-14 日 (神戸市)
 15. Kirimoto H, Ogata K, Onishi H, Oyama M, Goto Y, Tobimatsu S: Effects of tDCS over premotor cortex on excitability of primary motor and somatosensory cortices, Abstracts of the 38th Annual Meeting of Japanese Society of Clinical Neurophysiology, 2008 年 11 月 12-14 日 (神戸市)
 16. 桐本光, 大山峰生, 大西秀明, 田巻弘之, 與谷謙吾, 坂下一平, 北田耕司: 静的筋収縮時における負荷形式の違いが脊髄前角細胞及び一次運動野の興奮性に及ぼす影響 -肢位制御と筋力制御-. 第 63 回日本体力医学会大会. 2008 年 9 月 18-20 日 (大分市)
 17. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 触覚刺激時および刺激解除時における体性感覚誘発脳磁界. 第 21 回日本生体磁気学会. 2008 年 6 月 12-13 日 (東京都)
 18. 相馬俊雄, 大西秀明, 大山峰生, 亀山茂樹, 大石誠: 正中神経および尺骨神経同時刺激時の体性感覚誘発磁界について. 日本生体磁気学会. 2008 年 6 月 12-13 日 (東京都)
 19. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 表在感覚刺激時における脳磁界反応について. 第 43 回日本理学療法学会. 2008 年 5 月 23-25 日 (福岡市)
 20. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 運動時における脳磁界反応. 第 2 回日本脳機能イメージング研究会. 2008 年 3 月 9 日 (東京都)
 21. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 2 種類の自発運動遂行時における運動誘発脳磁界第二成分について. 第 37 回日本臨床神経生理学学会. 2007 年 11 月 21-23 日 (宇都宮市)
 22. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 示指伸展運動時における運動誘発脳磁界第二成分について. 日本生体磁気学会. 2007 年 6 月 21-23 日 (岡崎市)
 23. 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 亀山茂樹: 正中神経刺激による体性感覚誘発脳磁界とM波との関係. 日本生体磁気学会. 2007 年 6 月 21-23 日 (岡崎市)
 24. 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 大石誠, 亀山茂樹: 運動感覚と脳磁界反応について. 第 42 回日本理学療法学会. 2007 年 5 月 24-26 日 (新潟市)

[図書] (計 4 件)

1. 大西秀明, 久保雅義 : 運動機能解析テクニック, 理学療法ハンドブック改訂版第1巻(細田多穂, 他編). pp291-316, 2010年, 協同医書出版, 東京
2. 大西秀明 : 随意運動のメカニズム, 運動療法学総論第2版(吉尾雅春編). pp57-74, 2010年, 医学書院, 東京
3. 大西秀明 : 脳科学の進歩と理学療法の接点ー過去から現在ー, 脳科学と理学療法(大西秀明, 他編). pp6-13, 2008年, 三輪書店, 東京
4. 大西秀明 : ME G, 脳科学と理学療法(大西秀明, 他編). pp138-146, 2008年, 三輪書店, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 秀明 (ONISHI HIDEKAI)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号 : 90339953

(2) 研究分担者

相馬 俊雄 (SOMA TOSHIO)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・准教授
研究者番号 : 40339974

大山 峰生 (OYAMA MINEO)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号 : 10367427

久保 雅義 (KUBO MASAYOSHI)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号 : 50460332

(3) 連携研究者

亀山 茂樹 (KAMEYAMA SHIGEKI)
研究者番号 :