

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 29 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282124

研究課題名(和文)皮膚疾患判定を格段に進展させるESRイメージング法の構築

研究課題名(英文) Establishment of ESR imaging methods for evaluation of skin diseases

## 研究代表者

中川 公一 (Nakagawa, Kouichi)

弘前大学・保健学研究科・教授

研究者番号：00244393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、9 GHzの電子スピン共鳴(ESR)イメージングを試作し、尋常性乾癬(PV)患者における角質層(SC)の異常性を研究した。尋常性乾癬の結果は、健常者のSCの値と比較検討した。

得られた2次元(2D)画像の強い赤色の信号は、PV-SC皮膚への浸透を示唆するものであった。この病変領域は、コントロールで観察されなかった。ESR画像は、SCの構造状態に関する情報やその分布を示すことができた。得られた2D画像をもとに、SC状態の異常の位置を識別することができた。研究目標であるスピンプローブ剤を用いたPV-SCサンプルのイメージングの測定結果で、SCの状況に関する有用な画像を得ることができた。

研究成果の概要(英文)： We investigated identification and locations of abnormality of the stratum corneum (SC) in patients with psoriasis vulgaris (PV) by using 9 GHz electron spin resonance (ESR) imaging. The pieces of the SC and PV-SC were incubated in an aqueous solution of a spin probe for about 60 minutes at 37 °C. The probe solution was dropped on the sample sheet. The SC sheet repels the aqueous solution but the probe goes into the lipid phase during the incubation. After rinsing with distilled water to remove excess spin probe, the sample was mounted on an ESR cell and was measured by the ESR spectrometer. All measurements were performed at room temperature.

The strong red signal is due to probe penetration into the PV skin. No red lesion region was observed in the control. The two-dimensional images showed various sizes and number distribution concerning the disordered states in the SC structure. Thus, 9 GHz ESR imaging can be useful for identifying the location of abnormality of the SC states.

研究分野：生物物理化学

キーワード：電子スピン共鳴 フリーラジカル 生体計測 イメージング 皮膚科学

### 1. 研究開始当初の背景

皮膚角層の細胞間脂質は、角層のバリア機能として重要な役割をされていると考えられていて、これまで研究してきた。皮膚角層は、赤外吸収法やX-線法等の手法を用いて角層の細胞間脂質の構造解析が検討されてきた。しかし、具体的な分子レベルでの皮膚構造状態の解析には至っていないし、皮膚疾患の角層の構造的知見は極めて少ないのが現状である。

### 2. 研究の目的

我々は、これまで皮膚の ESR(電子スピン共鳴)計測を行ってきた。今回、新たに皮膚疾患である乾癬の画像化について研究を着手した。尋常性乾癬は、表皮が角化しロウヘン現象きたす皮膚疾患である。皮膚乾癬の角層の構造的な疾患特性を知るために、ESR(または電子常磁性共鳴) スピンプローブ法やイメージング法で詳細を研究した。コントロール(正常)と疾患皮膚の ESR 測定により、得られた結果の詳細を比較検討した。

### 3. 研究の方法

ESR イメージング装置は、市販の 9 GHz (X-band) ESR 装置を改良し、磁場勾配コイルを装着し磁場勾配駆動用の電源で磁場勾配を掛けた。イメージングのデータは、SpecMan4EPR ソフトを用い取り込みと画像処理を行った。

ヒトの指の皮膚や爪の非侵襲 ESR 測定用に、表面検出用の空洞共振器を考案し、新たに特別注文の上で空洞共振器を購入した。

あらかじめ倫理委員会の承認を得て、共同研究者から提供のあった尋常性乾癬 (psoriasis vulgaris, PV) の皮膚角層を測定した。スピンプローブは、一鎖型脂肪酸である 5-DSA(5-doxylstearic acid)を使用した。シアノアクリレートで皮膚角層をガラス板に貼り付けた。次に、約 60 μM のスピンプローブ液を採取角層に滴下し 37 °C の恒温で約 60 分インキュベーション後、蒸留水で過剰なスピンプローブを洗浄除去し、ESR 測定を実施した。尋常性乾癬の結果は、健常者の値と比較検討した。

### 4. 研究成果

図 1 の上の ESR スペクトルは、インキュベーションに用いた脂溶性プローブ(5-DSA)の水溶液のスペクトルである。水溶液では、5-DSA 分子が自由に運動しているのでシャープな 3 本線となった。これまでの研究から尋常性乾癬の ESR のスペクトルでは、ややブロードな 3 本線で、特徴的な窒素の 3 本線が得られた。この結果から、インキュベーションの過程で一部の 5-DSA は、皮膚を通過している可能性が示唆された。

一時的に治療薬を用いる前の検体でも、皮膚疾患である乾癬のスペクトルは角化異常により角層脂質構造が秩序的な状態にある

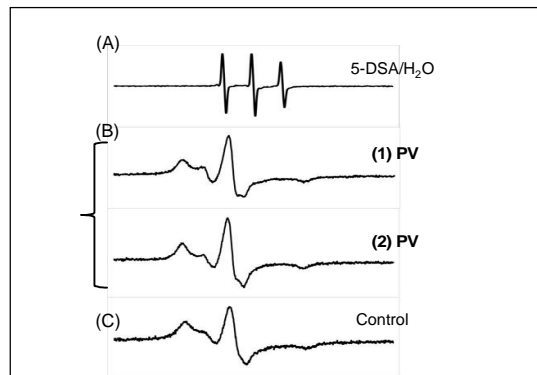


Fig. 1. (A)上のスペクトルは、皮膚試料に用いる溶液である。(B)-(1)治療薬を用いる前の皮膚乾癬の角層のスペクトル。(B)-(2)治療薬を用いる前の皮膚乾癬のスペクトル。(C)正常な皮膚角層のスペクトル。

ため、プローブ分子を取り込みコントロールに類似した異方性を示すものと考えられる。また、実験から治療薬を用いる前の皮膚乾癬の角層のスペクトルは、コントロールと似たスペクトルパターンであった。これは、治療薬を一時的にやめた場合で、すでにスペクトルは正常のものと類似しており、構造的に正常値と近いと考えられた(図1の(B)-(1))。

一方、治療後の皮膚サンプルでは、角層脂質構造の正常化により、コントロール(正常)の皮膚角層に類似した異方性スペクトルが得られた(図1の(B)-(2))。従って、この実験の尋常性乾癬では、コントロールと類似のスペクトルが得られ、乾癬の角層脂質構造の回復が示唆された。

このように、皮膚角層の構造的な ESR-スピンプローブ法でスペクトル的に構造的な違いを明らかにできたが、皮膚試料から得られたスペクトルで分からないラジカル分布などの詳細なラジカル情報を得る目的で、ESR イメージングを試みている。

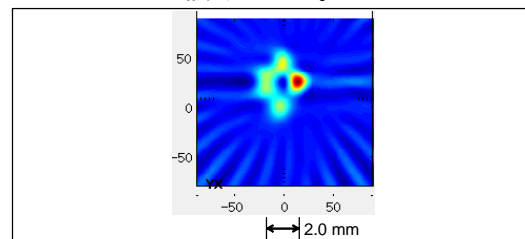


Fig. 2. DPPH ファントムの 2 次元 ESR 画像。

図 2 はファントム(模擬試料)の 2 次元(2D)ESR 画像である ESR 研究でよく用いられる 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) で作成したファントムを用いたイメージングの実験を行った。このファントムの 2 次元のイメージングを試みた。DPPH は、磁場勾配が比較的弱くてもきれいな画像が得られやすい。強度の強い 2 mm 間隔(横)と 4 mm 間隔(縦)の 2 点 が得られた。

図 3 は、乾癬とコントロールの 2DESER 画像である。実験は、ファントム実験をもとに行なった。乾癬では、画像の赤い部位が観測され

たが、コントロールでは観測されなかった。これは、乾癬の角層の構造的異常を示すものと考えられ、興味深い ESR 画像である。今後、画像法でデータ処理の高速化に向けた技術的向上を目指し、さらに、皮膚の新しい表面検出法を開発し皮膚測定に応用する予定である。

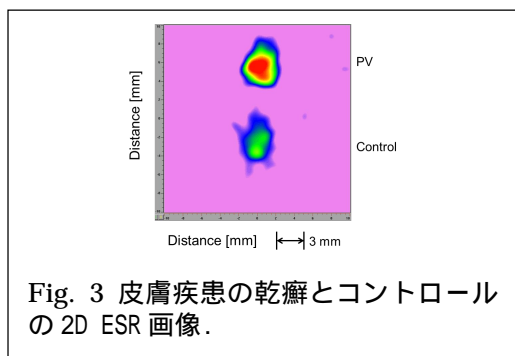


Fig. 3 皮膚疾患の乾癬とコントロールの 2D ESR 画像.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

1. K. Nakagawa, H. Hara, "CW EPR and 9 GHz EPR imaging investigation of stable paramagnetic species and their antioxidant activities in dry shiitake mushroom (*Lentinus edodes*)", *Free Radical Research*, **50**(5), 2016, 523-529. doi: 10.3109/10715762.2014967691 査読有
2. K. Nakagawa, S. Minakawa, and D. Sawamura, "Skin surface imaging of psoriasis vulgaris by using an electron paramagnetic resonance spin probe," *Journal of Dermatological Science*, **81**(1), 2016, 71-73. doi: 10.1016/j.jdermsci.2015.10.006 査読有
3. K. Nakagawa, Y. Karakirova, N. D. Yordanov, "Heavy-ion induced sucrose radicals investigated using EPR and UV spectroscopy," *J. Radiation Research*, **56**(3), 2015, 405-412. doi: 10.1093/jrr/rru108 査読有
4. K. Nakagawa and H. Hara, "Investigation of radical locations in various sesame seeds by CW EPR and 9 GHz EPR imaging," *Free Radical Research*, **49**(1), 2015, 1-6. doi: 10.3109/10715762.2014.967691 査読有
5. K. Nakagawa and B. Epel, "Locations of radical species in black pepper seeds investigated by CW EPR and 9 GHz EPR imaging," *Spectrochimica Acta Part A, Molecular & Biomolecular Spectroscopy*, **131**, 2014, 342-346. DOI: 10.1016/j.saa.2014.04.100 査読有
6. K. Nakagawa, "Effects of Low Dose X-ray Irradiation of Eggshells on Radical Production," *Free Radical Research*, **48**(6), 2014, 679-683. DOI: 10.3109/10715762.2014.900174 査読有
7. K. Nakagawa, K. Kobukai, and Y. Sato, "ESR Investigation of Sucrose Radicals Produced by 0.25-4.5 Gy Doses of X-ray Irradiation," *J. Radiation Research*, **55**(4), 2014, 726-729. doi: 10.1093/jrr/rru018 査読有
8. 中川 公一, "In Vivo Oxygen Imaging Workshop 2014 参加報告," *電子スピンスイェンス*, **12**, 2014, 113-114. 無
9. Y. Sato, K. Nakagawa, and T. Takahashi, "Low dose dependence of sucrose radical generation," Proceeding of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Radiation Emergency, 2014, 39-41. 無
10. K. Nakagawa, S. Minakawa, and D. Sawamura, "Stratum corneum structure of psoriasis vulgaris investigated by EPR spin-probe method," *Appl. Magn. Reson.*, **44**, 2013, 941-948. DOI: 10.1007/s00723-013-0453-y 査読有
11. K. Nakagawa, S. Minakawa, and D. Sawamura, "EPR spectroscopic investigation of psoriatic finger nails," *Skin Research and Technology*, **19**, 2013, 450-453. doi: 10.1111/srt.12068 査読有

〔学会発表〕(計 42 件)

2016 年

1. 中川公一, X-band EPR イメージング法によるヒト皮膚角層疾患の解析, 分離機能とセンシング機能の化学セミナー, 2016. (3/12) 東北大学金属材料研究所 (宮城県、仙台市)

2015 年

2. K. Nakagawa, S. Minakawa, D. Sawamura, H. Hara, "The 9 GHz EPR Imaging of Free Radicals in Various Materials", 7th Biennial Meeting of Society for Free Radical Research-Asia (SFRR-Asia 2015), Chiang Mai, Thailand. November 29-December 2, 2015.
3. K. Nakagawa, S. Minakawa, D. Sawamura, H. Hara, "Skin imaging of psoriasis vulgaris using electron paramagnetic resonance spin-probe", 6<sup>th</sup> Asian Conference on Colloid and Interface Science (ACCIS 2015), November 24-26, 2015, Arcus Sasebo, Sasebo, Japan. (11/24) (長崎県、佐世保市)
4. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、原英之, CW EPR と EPR イメージング法による皮膚角層の研究, 第 54 回電子スピンスイェンス学会年会, SEST2015, 第 54 回電子スピンスイェンス学会年会講演要旨集, p. 38 ~ 39, 11/2 ~ 11/4, 2015. 新

- 渦朱鷺コンベンションセンター(新潟県、新潟市)
5. 中川公一、原 英之、松本謙一郎、CW EPR と EPR イメージング法による重粒子線が生じたスクロースラジカルの研究、第 54 回電子スピンサイエンス学会年会、SEST2015、第 54 回電子スピンサイエンス学会年会講演要旨集、p. 38~39、11/2~4、2015。(11/03)(新潟県、新潟市、新潟朱鷺コンベンションセンター)
  6. 原英之、中川公一：X-band イメージングによる食品中のラジカル分布の研究、第 54 回電子スピンサイエンス学会年会、SEST2015、第 54 回電子スピンサイエンス学会年会講演要旨集、p. 38~39、11/02~04、2015。(新潟県、新潟市、新潟朱鷺コンベンションセンター)
  7. Kouichi Nakagawa, "An innovative 9 GHz EPR surface detection method its application to non-invasive human fingers and nails investigation", BIODOSE, 10/6~10/9, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA 2015.
  8. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、原英之：皮膚角層のイメージングに関する EPR/ESR 研究、日本油化学会第 54 回年会、名城大学、日本油化学会第 54 回年会講演要旨集、p. 181、9/8~10、2015。(愛知県、名古屋市)
  9. 中川公一、原 英之、松本謙一郎：重粒子線照射で生ずるスクロースラジカルの CW EPR と EPR イメージング法による研究、平成 27 年度 化学系学協会東北大会、9/12-13 (9/13)、2015。弘前大学文京キャンパス(青森県、弘前市)
  10. Kouichi Nakagawa, Hideyuki Hara, Ken-ichiro Matsumoto, "Distributions of C-ion and X-ray Induced Sucrose Radicals Investigated by CW EPR and 9 GHz EPR Imaging," 57th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, Snowbird, Utah, USA. 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, FINAL PROGRAM AND ABSTRACTS, p. 67, 7/26-7/31, 2015.
  11. K. Nakagawa, S. Minakawa, D. Sawamura, H. Hara, "Skin Structure of Psoriasis Vulgaris Investigated by CW EPR and 9 GHz EPR Imaging," 57th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, Snowbird, Utah, USA. 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, FINAL PROGRAM AND ABSTRACTS, p. 43, 7/26-7/31, 2015.
  12. Hideyuki Hara, Kouichi Nakagawa, "Investigation of radical distribution in foodstuffs by X-band ESR imaging", 57th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, Snowbird, Utah, USA. 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, FINAL PROGRAM AND ABSTRACTS, p. 57, 7/26-7/31, 2015.
  13. 中川公一、電子スピン共鳴法による皮膚角層の研究、第 19 回 ESR フォーラム研究会、特別講演、7/24、2015、東京工業大学(東京都、目黒区)
  14. Hideyuki Hara, Kouichi Nakagawa, "X-band ESR imaging for foodstuffs", The 3rd Awaji International Workshop on Electron Spin Science and Technology: Biological and Material Science oriented Application (3rd AWEST 2015) 6/15-17, 2015. Poster 6/17, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji Island, Hyogo, Japan。(兵庫県、淡路市)
  15. Kouichi Nakagawa, Hideyuki Hara, "Locations of Heavy-ion Induced Sucrose Radicals Investigated Using CW EPR and 9 GHz EPR Imaging," 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015), Kyoto, 5/25-5/29, 2015。京都国際会館(京都府、京都市)
  16. Kouichi Nakagawa, Ken Kobukai, and Yuzuru Sato, "EPR Investigation of Sucrose Radicals Produced by Low Doses of X-ray Irradiation," 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015), Kyoto, 5/25-5/29, 2015。京都国際会館(京都府、京都市)
  17. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、原 英之：CW EPR と 9 GHz EPR イメージング法による皮膚画像とその解析、第 68 回日本酸化ストレス学会学術集会、鹿児島、第 68 回日本酸化ストレス学会学術集会プログラム・抄録集、p. 104、6/11-12、2015。(6/11)かごしま県民交流センター(鹿児島県、鹿児島市)
- 2014 年
18. K. Nakagawa, "Effects of 0.10-10 Gy X-ray Irradiation on Eggshell Radical Production," The 9th Asia Pacific EPR/ESR Symposium (APES2014), 11/11-11/15, 2014, Nara Culture Center, Nara, Japan。(奈良県、奈良市)
  19. K. Nakagawa, "EPR Spin Probe Investigation of Surface Structure Analyses of Skin," The 9th Asia Pacific EPR/ESR Symposium (APES2014), 11/11-11/15, 2014, Nara Culture Center, Nara, Japan。(奈良県、奈良市)
  20. 中川公一、皆川智子、澤村大輔：電子スピン共鳴(ESR)法による皮膚乾癬の研究、第 78 回日本皮膚科学会東部支部学術大会、10/4-10/5、2014、ホテル青森(青森県、青森市)。

21. 川村優太、中川公一、皆川智子、澤村大輔：電子スピン共鳴(ESR)法を用いた乾癬の角層構造の薬効に関する研究、第78回日本皮膚科学会東部支部学術大会、10/4-10/5、2014、ホテル青森(青森県、青森市)。
  22. 中川公一、佐藤 譲、小武海 拳、低線量 X-線照射で生ずるスクロースラジカルの ESR 法の研究、平成 26 年度 化学系学協会東北大会、2014、9/19-20、山形大学工学部(山形県、米沢市)。
  23. Kouichi Nakagawa and Boris Epel, "EPR Imaging determines locations of radical species in black pepper seeds," 1<sup>st</sup> Asian Conference on Oleo Science, p. 140, 9/7-9/10, 2014, Royton Sapporo, Sapporo city, Hokkaido.
  24. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、ESR-スピンプローブ法による皮膚角層の構造に関する研究、日本油化学会第 53 回年会、日本油化学会第 53 回年会講演要旨集、p. 108、9/10-9/11、2014。ロイトン札幌(北海道、札幌市)。
  25. Kouichi Nakagawa, "Detection and Analyses of Structural Changes of Various Stratum Corneum," The 3rd International Conference and Exhibition on Cosmetology & Trichology, p. 61, 7/21-7/23, 2014, Las Vegas, USA. (Invited Lecture)
  26. Kouichi Nakagawa, Satoko Minakawa, and Daisuke Sawamura, "Electron Paramagnetic Resonance (EPR) Investigation of Skin Structure of Psoriasis Vulgaris," The 3rd International Conference and Exhibition on Cosmetology & Trichology, p. 78, 7/21-7/23, 2014, Las Vegas, USA.
  27. K. Nakagawa, "Effects of Low Dose X-ray Irradiation (0.10-10 Gy) of Eggshells on Radical Production," 3PM-7, p. 42, The 2nd Awaji International Workshop on Electron Spin Science and Technology: Biological and Material Science oriented Application (2nd AWEST 2014) 6/15-6/17, 2014, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji Island, Hyogo, Japan.
  28. K. Nakagawa, S. Minakawa, and D. Sawamura, "EPR Spin Probe Investigation of Skin Structure," P-8, p. 60, The 2nd Awaji International Workshop on Electron Spin Science and Technology: Biological and Material Science oriented Application (2nd AWEST 2014) 6/15-6/17, 2014, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji Island, Hyogo, Japan.
  29. 箱田優也、田中佳祐、油井研一、酒井健一、酒井秀樹、阿部正彦、橋本悟、中川公一、坂本一民、角層細胞間脂質モデルの構造と特性、第 39 回日本香粧品学会、p. 23、6/5-6/6、2014、有楽町朝日ホール(東京都、千代田区)。
  30. 中川公一、9 GHz ESR 法による皮膚疾患と皮膚の構造解析、第 74 回分析化学討論会、p. 162、5/24-5/25、2014、日本大学工学部(福島県、郡山市)。
  31. Kouichi Nakagawa, Satoko Minakawa, and Daisuke Sawamura, "Structure and Dynamics of Spin Probes in Intercellular Lipids of Skin," 17th Biennial Meeting of Society for Free Radical Research International (SFRR 2014), p. 70, 3/23-3/26, 2014, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.
- 2013 年
32. 中川公一、9 GHz EPR イメージング法の医科学への応用：皮膚疾患と皮膚構造の解析、分子研研究会「先端スピン計測技術による分子性物質研究の現状と展望」、p. 14、12/18-12/1、2013、自然科学研究機構 分子科学研究所(愛知県、岡崎市)
  33. 中川公一、ESR 法による皮膚角層脂質の構造解析、分析化学と化学分析の青森フォーラム 2013、p. 4、11/28、2013、弘前大学(青森県、弘前市)。(依頼講演)
  34. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、EPR-スピンプローブ法による乾癬の皮膚構造の研究、第 52 回電子スピンサイエンス学会年会、SEST2013 第 52 回電子スピンサイエンス学会年会講演要旨集、p. 38-39、10/24-10/26、2013、大宮ソニックシティ(埼玉県、さいたま市)
  35. 中川公一、佐藤譲、高橋拓斗、スクロースへの低線量 X-線と重粒子線照射で生ずるラジカルの EPR 解析、第 52 回電子スピンサイエンス学会年会、SEST2013 第 52 回電子スピンサイエンス学会年会講演要旨集 p174-175、10/24-10/26、2013、大宮ソニックシティ(さいたま市、埼玉県)
  36. Kouichi Nakagawa, Satoko Minakawa, Daisuke Sawamura, "9 GHz EPR INVESTIGATION OF SKIN STRUCTURE OF PSORIASIS VULGARIS," 2013 Biennial Meeting of Society for Free Radical Research Asia, Biennial Meeting of Society for Free Radical Research Asia, Program Book, p. 142, 10/16-10/19, 2013, Tao-Yuan, Taiwan.
  37. Kouichi Nakagawa, Ken Kobukai, Yuzuru

- Sato, Takuto Takhashi, "ESR Investigation of Sucrose Radicals Produced by Low Dose X-ray Irradiation" International Symposium for the 70<sup>th</sup> Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, p. 273, 9/28-9/30, 2013, Tohoku University, Sendai, Miyagi, Japan.
38. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、ESR法による皮膚乾癬の皮膚構造に関する研究、日本油化学会第52回年会、日本油化学会第52回年会講演要旨集、p. 191、9/3-9/5、2013、東北大学（宮城県、仙台市）
39. K. Nakagawa, K. Kobukai, Y. Sato, T. Takahashi, "Sucrose Radicals Induced by Low Dose Irradiation with X-ray," 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE. 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, FINAL PROGRAM AND ABSTRACTS, p. 49, 7/28-8/1, 2013, Denver, Colorado, USA.
40. K. Nakagawa, S. Minakawa, D. Sawamura, "Skin Structure of Psoriasis Vulgaris Investigated by EPR Spin-Probe Method," 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE. 55th ANNUAL ROCKY MOUNTAIN CONFERENCE ON MAGNETIC RESONANCE, FINAL PROGRAM AND ABSTRACTS. p. 33, 7/28-8/1, 2013, Denver, Colorado, USA.
41. K. Nakagawa, S. Minakawa, and D. Sawamura, "9 GHz EPR Investigation of Skin Surface," 3AM-4, p. 30, The 1<sup>st</sup> Awaji International Workshop on Electron Spin Science and Technology: Biological and Material Science oriented Application (1<sup>st</sup> AWEST 2013) 6/18-6/19, 2013, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji Island, Hyogo, Japan.
42. 中川公一、皆川智子、澤村大輔、尋常性乾癬のESR法による構造的解析、第66回日本酸化ストレス学会学術集会、p. 93、6/13-6/14、2013、ウインクあいち（愛知県、名古屋市）。

〔図書〕(計 2 件)

1. K. Nakagawa, "Structure of stratum corneum lipid studied by electron paramagnetic resonance," Chapter 70, *Textbook of Aging Skin, 2nd Edition*, Miranda A. Farage, Kenneth W. Miller and Howard I. Maibach Eds, Springer-Verlag, 1-16, 2016. ISBN: 978-3-642-27814-3 (Online).

2. K. Nakagawa and D. Sawamura, "Psoriasis vulgaris investigated by electron paramagnetic resonance," *Psoriasis: Types, Triggers and Treatment Strategies*, Chapter 5, Phillip B. Smith and Nathan C. Johnson Eds, Nova Science Publishers, Inc., New York, Chapter 5, 2013, 143-164. ISBN 978-1-62618-584-5

〔産業財産権〕

取得状況(計 1 件)  
 名称：電子スピン共鳴装置  
 発明者：中川 公一  
 権利者：同上  
 種類：特許  
 番号：特許第 5481651 号  
 出願年月日：平成 22 年 7 月 20 日  
 取得年月日：平成 26 年 2 月 28 日  
 国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等  
 ・研究室のホームページ(中川リサーチグループ)  
<http://www.hs.hirosaki-u.ac.jp/~nakagawa>  
 ・researchmap (JST)  
<http://researchmap.jp/read0186203/>  
 ・Kouichi Nakagawa (Google Scholar)  
<http://scholar.google.co.jp/citations?user=wqcm6r8AAAAJ&hl=en&oi=ao>  
 ・中川公一・弘前大学医学部保健学科・大学院保健学研究科  
[http://www.hs.hirosaki-u.ac.jp/kouhou/hg/web/daigakuin/teacher\\_detail02.html?id=56](http://www.hs.hirosaki-u.ac.jp/kouhou/hg/web/daigakuin/teacher_detail02.html?id=56)

6. 研究組織

(1)研究代表者  
 中川 公一 (NAKAGAWA KOUICHI)  
 弘前大学・大学院保健学研究科・教授  
 研究者番号：00244393

(2)研究分担者

澤村 大輔 (SAWAMURA DAISUKE)  
 弘前大学・大学院医学研究科・教授  
 研究者番号：60196334