

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24601002

研究課題名(和文) 心臓 I V R 及び心臓 C T における総合被曝線量管理法の開発

研究課題名(英文) Study on a comprehensive radiation exposure management protocol for measuring patient entrance doses in cardiac interventional procedures and cardiac computed tomography.

研究代表者

加藤 守 (Kato, Mamoru)

東北大学・医学(系)研究科(研究院)・非常勤講師

研究者番号：10595573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000 円

研究成果の概要(和文)：冠動脈疾患に対する治療法として、X線透視撮影下で行う冠動脈インターベンション(PCI)が増加しているが、難易度の高いPCIでは、長時間に及びX線透視による被曝で、患者の放射線皮膚障害が報告され問題となっている。一方、冠動脈疾患に対する診断検査は、侵襲性の低いCTでの評価が増加している。しかし、冠動脈CTは他部位のCTと比べ患者被曝線量が多く、更にPCIと総合的な線量管理が不可能であった。PCIに関連して冠動脈CTが行われる機会も多く、患者の放射線障害を回避するために、蛍光ガラス線量計を配した専用装具を開発し、両者の被曝線量を総合的に管理するシステムの基礎的な検討を行った。

研究成果の概要(英文)：Interventional cardiology, such as percutaneous coronary intervention (PCI), are increasingly being adopted in the treatments for coronary artery disease. Unfortunately, several cases of skin injury caused by radiation exposure are still being reported in association with PCIs. Furthermore, coronary computed tomography (CT), which is a promising non-invasive technique for the detection of coronary stenosis, is increasingly utilized for the preoperative examination and postoperative assessment of PCI. Compared to other CT examinations, coronary CT examinations deliver a higher dose. In addition, many CT protocols do not provide a method for evaluating the patient entrance skin dose. Thus, high radiation doses may have deterministic effects. Using multiple radiophotoluminescence glass dosimeters with a modified dosimetry gown to measuring the entrance skin doses in PCI and coronary CT, we developed a comprehensive radiation exposure management protocol to prevent radiation skin injuries.

研究分野：放射線防護

キーワード：放射線障害 インターベンション 冠動脈CT 線量測定 被曝管理 最大皮膚線量 蛍光ガラス線量計  
診断参考レベル

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 冠動脈インターベンション(PCI)は、日本においても年々増加傾向にある。多数の患者がPCIによりQOL (quality of life) の改善を得ている一方、放射線被曝による皮膚障害が依然と報告されている。PCIはデバイスの進歩により、難易度の高い病変部に対しても施行されるようになり、透視時間の延長による皮膚被曝線量増加が皮膚障害発生の要因と考えられている。PCIによる放射線皮膚障害を回避するには、被曝線量が最大となる皮膚面での被曝線量を実測し管理する必要があるが、実測方法は確立されていない。現在、IEC (International Electrotechnical Commission)及びJIS規格により、血管撮影装置の被曝管理を目的として、面積線量積(DAP)と患者照射基準点線量(AK)を表示するシステムとなっているが、いずれもX線装置のメカニカルな線量値で、患者の最大皮膚線量及びその部位を正確に評価できていない。最大皮膚線量の把握が不十分な場合、障害の程度を予測し治療につなげる事が遅れ、更なる重症化を招く場合も考えられる。

(2) 近年、血管造影検査に比べ非侵襲的なCTを用い、冠動脈病変を評価する冠動脈CT検査が増加している。冠動脈CT検査は、患者寝台移動速度を遅くし、X線ビーム幅を薄くして心臓全体を細かく撮影するため、他部位のCT検査に比べ患者の放射線被曝が多く問題となっている。現在、CTでの被曝管理値としてCT Dose Index (CTDI)とDose Length Product (DLP)が装置に表示される。CTDIは、1スキャンにおける直径32cm(体幹部)の円筒形アクリルファントムでの中心軸上の1点と、表面から深さ1cmの4点の吸収線量の荷重平均値である。DLPはCTDIに患者寝台移動速度とX線ビーム幅で補正し、さらにX線が照射される対軸方向の長さを乗じた値である。何れにせよCTDIやDLPといった管理値は特殊で、円筒形アクリルファントムを使用したと想定した時の値で装置の管理値である。患者体型等は考慮されていないため、臨床時の患者被曝線量と直結していない。

最近、PCIの術前・術後検査として冠動脈CT検査の施行が増加している。冠動脈CTにて冠動脈に狭窄が疑われ、PCIを施行される患者も多く、患者被曝管理は両者の皮膚線量を総合的に管理する必要があるが、現在その方法は確立されていない。

### 2. 研究の目的

PCIにおける放射線皮膚障害の発生は依然報告されている。放射線皮膚障害を回避するには、被曝線量が最大となる患者の背部皮膚面での被曝管理が必要である。また、PCIに関連し冠動脈CTが施行される症例が増加している。PCIの放射線障害発生部位である患者背部皮膚面に着目し、PCIと冠動脈CTによる

皮膚被曝線量を総合的に管理するシステムを新たに開発するための基礎的な検討を行う。

### 3. 研究の方法

現在患者被曝線量を実測する方法は 小型素子線量計を使用する方法 線量測定フィルムを使用する方法 カラーインジケータ法がある。どの方法も長所短所が存在し、以下に概要を記す。

TLD(熱蛍光線量計)やRPLD(蛍光ガラス線量計)と言った小型の素子線量計を多数個患者に貼付し測定する。TLDやRPLDは自然放射線レベルの低線量(10  $\mu$ Gy)から放射線治療レベルの高線量(10 Gy)まで広範囲に正確に測定が可能であるが、測定・読み取り時の煩雑さが問題である。また、TLDは測定した線量データが時間とともに消滅するフェーディング特性が知られている。

線量測定フィルム法はもっとも簡便な測定方法で、フィルムを患者と寝台の間に敷き測定する。しかしその線量及び分布は寝台上の線量と分布である。寝台と患者皮膚面の距離が影響するため、フィルムで測定した線量値は過大評価となる。また、寝台上では人体表面上の照射野の重複を十分に反映できていない。カラーインジケータ法は線量情報を色で表示するが、細かな色の違い(細かな線量の違い)を視覚的に判断することは困難である。

以上のことから、本研究ではフェーディングの無いRPLDを用いて患者皮膚線量を測定した。更にRPLDは、素子間のばらつきが少なく、繰り返し読み取りが可能である。

(1)RPLD(図1)はエネルギー依存性があるため、錫のエネルギー補償フィルタが付いている(GD-352M)。しかし、臨床時、錫のエネルギー補償フィルタはX線不透過物質のため、画像に障害陰影を生ずる(図2)。本研究ではエネルギー補償フィルタ無のGD-302Mを使用した。

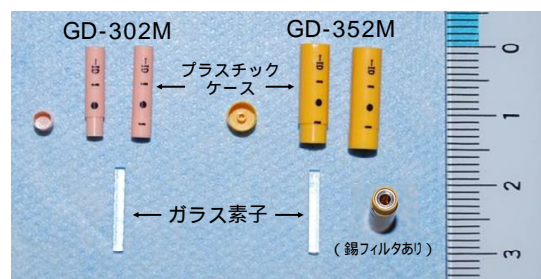


図1 蛍光ガラス線量計(RPLD)の種類

臨床測定に先立ち、下記に記すGD-302Mの諸特性を、臨床使用する血管撮影装置(東芝メディカルシステムズ社製: Infinix)とCT装置(SIEMENS社製: Definition)にて測定した。

使用装置の実効管電圧  
 効管電圧依存性  
 線量依存性  
 線量率依存性  
 方向依存性

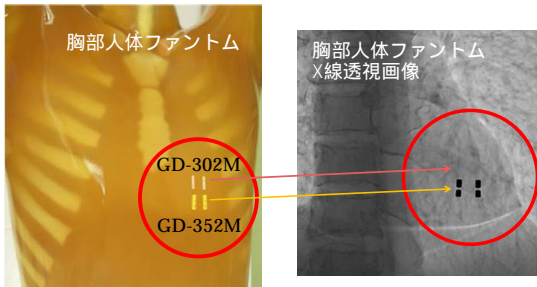


図 2 RPLD の種類による X 線透過性に違い

(2) PCI 及び冠動脈 CT における X 線入射部位を線量測定フィルムにて確認し、照射野を覆う装具(患者が着用し多数の GD-302 を一定間隔で配置できるようにしたもの)を開発した。

#### 4. 研究成果

(1) RPLD (GD-302M) の諸特性について  
 使用装置の実効管電圧

図 3 に示す通り、装置の総ろ過などの違いにより、同一 X 線管電圧であっても実効管電圧に違いがみられた。

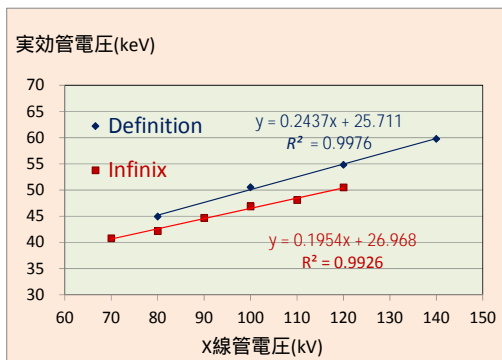


図 3 装置の違いによる実効管電圧の違い

実効管電圧依存性

図 4 に示す通り、装置及び X 線管電圧が異なっても、実効管電圧に対する GD-302M の感度は変わらず、実効管電圧が高くなると感度は少し低下する特徴が認められた。

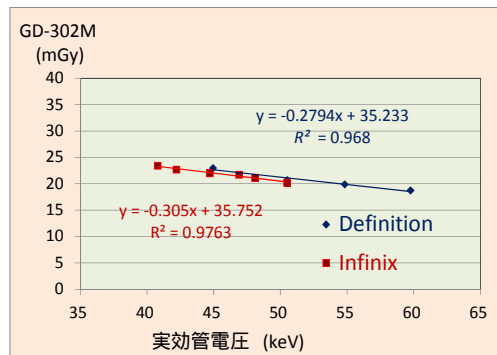


図 4 GD-302M の実効管電圧依存性

この結果から、GD-302M を用いた臨床線量測定時は使用する X 線の実効管電圧で補正することで使用可能である。CT 装置の使用管電圧は 120kV 一定であるため、校正定数は 0.342 を使用する。一方血管撮影装置は被写体厚によって X 線管電圧が変化するので、使用 X 線管電圧範囲である 70kV から 120kV までの校正定数の平均値である 0.311 を使用した。

線量及び線量率依存性はリファレンス線量計として電離箱線量計 (Radcal 社製 9015 ; 6cc チェンバー) を用いた。図 5, 6 に線量及び線量率依存性を示すが、低線量(率)から高線量(率)まで、非常に良い直線性が得られた。

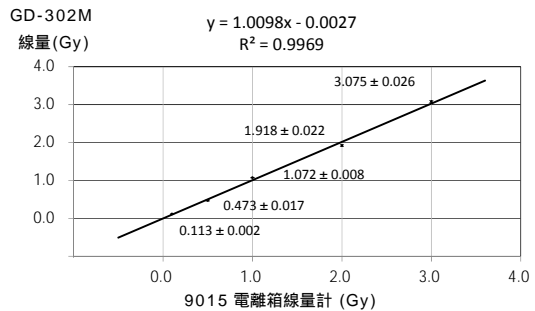


図 5 GD-302M の線量依存性

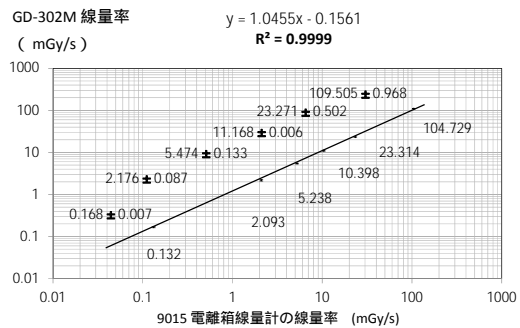


図 6 GD-302M の線量率依存性

方向依存性に関しては図に示す通り、長軸 ± 90 度で方向依存性が認められたが、臨床ではこのような角度で使用する機会がなく問題なしとした。

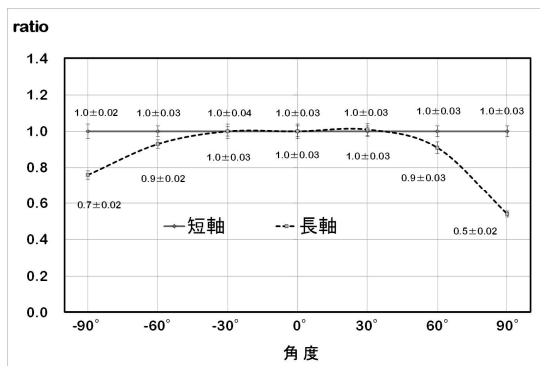


図 7 GD-302M の方向依存性

## (2)患者装具の開発

PCI 時の X 線入射部位を線量測定フィルムにて確認した(図 8-a)。黒化している箇所が X 線入射部位である。PCI は様々な方向にて治療が行われるため、広範囲で均一な測定ポイントが必要と考えた。一方、冠動脈 CT 時の X 線入射部位は図 8-b である。左右方向では線量差が認められないが、体軸(頭尾)方向に細かな測定ポイントが必要と考えた。特にテストボラス法を用いて、冠動脈に造影剤が到達する時間を測定しているため、その部位が最大線量域となっていた。以上を考慮し開発した PCI 用胸部装具が図 9 である。X 線入射面となる背部の測定ポイントに GD-302M を挿入するポケットを作成した。ポケットの挿入口には折り返しを付け、装着中に GD-302M が容易に脱落しない構造とした。また、冠動脈 CT 用の装具は測定点を密にした図 10 を製作した。



図 8 線量測定フィルムで確認した X 線入射部位 (黒化部が入射部位)

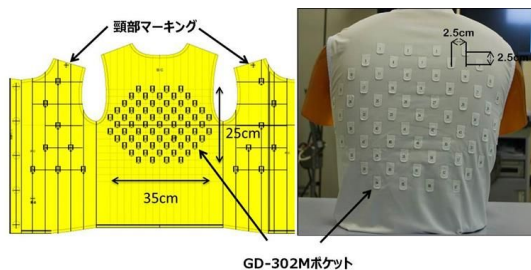


図 9 PCI 用胸部装具

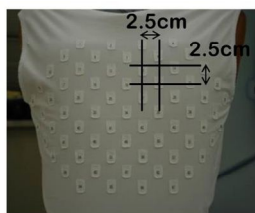


図 10 冠動脈用胸部装具

放射線皮膚障害の現状と管理法の研究成果は欧文誌 (Acta Radiol) に、RPLD の諸特性についての基礎的検討の研究成果は、欧文誌 (Radiation Protection Dosimetry) に掲載された。また、研究成果の一部をヨーロッパ放射線学会 (European Congress of Radiology: ECR 2013) 及び北米放射線学会 (Radiological Society of North America: RSNA2014) にて発表した。

患者装具の開発経過についての研究成果は、日本放射線技術学会雑誌に掲載された。

## (3)臨床測定

PCI 時に GD-302M と胸部専用装具を用いて実測した患者背部皮膚面の入射線量分布図(等高線図)を図 11-a に示す。右前斜位頭尾方向が PCI 時のワーキングアングルであった。分布図ではその部位に一致して最大線量 864mGy であった。最大線量部位に注目してフォローアップすることで放射線皮膚障害の評価に有用である。

冠動脈 CT 時の胸部専用装具を用いて実測した患者入射線量分布を図 11-b に示す。テストボラス部位が最大線量となり 144mGy であった。

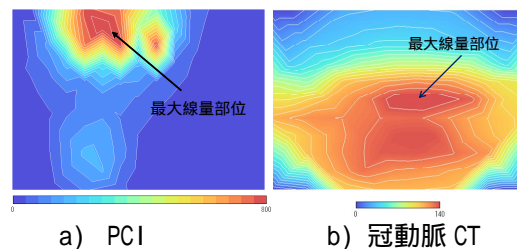


図 11 GD-302 で実測した入射皮膚線量の線量分布図

この様に PCI と冠動脈 CT が短期間で行われた場合、両者を総合的に管理する必要がある。今回、合計の最大皮膚線量は 1Gy を超える事となり、今後のフォローアップが必要である。

これまで冠動脈 CT と PCI は単独の線量管理値を用いて被曝管理が行われてきた。今後は放射線皮膚障害に着目し、入射皮膚線量で総合管理することが、放射線障害回避の重要なポイントとなる。

また国際放射線防護委員会 (ICRP) は 2007 年に診断参考レベルの構築を提唱した。近年ようやく本邦でもその動きがみられるが、診断参考レベルの構築には患者入射線量を実測する必要がある。今回開発したシステムをさらに発展させ全国的なデータ収集を行うことで、国内放射線防護体系へ取り込む際の基礎的なデータとなり、放射線医療行政に大いに貢献する事が期待される。

## 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 6 件)

加藤 守: 被験者と術者に負担のない検査・治療をめざして. INNERVISION, 29, 28-29, 2014, 査読無

加藤 守, 千田 浩一, 盛武 敬, 小口 靖弘, 加賀 勇治, 坂本 肇, 塚本 篤子, 川内 覚, 松本 一真, 松村 光章, 大阪

肇, 土佐 鉄雄: 心血管撮影領域における患者被曝線量測定用装置の開発. 日本放射線技術学会雑誌, 70(8), 814-820, 2014, 査読有

DOI:10.6009/jjrt.2013\_JSRT\_70.8.814  
Mamoru Kato, Koichi Chida, Takashi Moritake, Yasuhiro Koguchi, Tadayasu Sato, Hajime Oosaka, Tetsuo Tosa and Ken Kadowaki: Fundamental study on the characteristics of a radiophotoluminescence glass dosimeter with no energy compensation filter for measuring patient entrance doses in cardiac interventional procedures. Radiation Protection Dosimetry, 162(3), 224-229, 2014, 査読有

DOI:10.1093/rpd/nct300  
加藤 守: 虚血性心疾患の診断 血管撮影. 日本放射線技術学会雑誌, 69(10), 1173-1186, 2013, 査読有

DOI:10.6009/jjrt.2013\_JSRT\_69.10.1173  
Mamoru Kato, Koichi Chida, Takashi Moritake, Yasuhiro Koguchi, Tadayasu Sato, Hajime Oosaka, Tetsuo Tosa and Ken Kadowaki: The necessity of follow-up for radiation skin injuries in patients after percutaneous coronary interventions, radiation skin injuries will often be overlooked clinically. Acta Radiol, 53(9), 1040-1044, 2012, 査読有

DOI: 10.1258/ar.2012.120192.

加藤 守: 冠動脈インターベンションの進化とデバイスの進化. 映像情報メディカル, 44(6), 610-613, 2012, 査読有

[学会発表](計 18 件)

Mamoru Kato, Koichi Chida, Takashi Moritake, Tadayasu Sato, Tetsuo Tosa, Hajime Oosaka, Ken Kadowaki, Masafumi Sasaki, Fumiaki Sasaki, Kazunori Matsumoto: Patient dose measurement methods in interventional cardiology procedures. Radiological Society of North America (RSNA) 2014, Chicago, USA, Nov. 30- Dec 5, 2014.

加藤 守: 心臓カテーテル検査における被ばく低減方法. CCT2014 (招待講演), 神戸市, 神戸ポートピアホテル, 10月30日-11月1日, 2014.

加藤 守, 千田 浩一, 盛武 敬, 小口 靖弘, 加賀 勇治, 坂本 肇, 塚本 篤子, 川内 覚, 松本 一真, 松村 光章: 心臓インターベンション時の皮膚入射線量実測による多施設線量評価 (臨床評価). 第42回日本放射線技術学会秋季学術大会 (招待講演), 札幌市, 札幌コンベンションセンター, 10月9-11日, 2014.

加藤 守, 千田 浩一, 盛武 敬, 松本

和規, 佐々木 文昭, 佐々木 正文, 大阪 肇, 土佐 鉄雄: 心血管造影時の線量測定方法の違いによる入射線量差の要因についての検討. 第42回日本放射線技術学会秋季学術大会, 札幌市, 札幌コンベンションセンター, 10月9-11日, 2014.  
加藤 守, 千田 浩一, 盛武 敬, 小口 靖弘, 大阪 肇, 土佐 鉄雄, 眞壁 伸, 佐藤 匡也: 心血管造影及び心臓 CT 時の患者皮膚線量を用いた被曝管理の検討. 第23回日本心血管インターベンション治療学会・学術集会, 名古屋市, 名古屋国際会議場, 7月24-26日, 2014.

Mamoru Kato, Koichi Chida, Takashi Moritake, Yasuhiro Koguchi, Fumiaki Sasaki, Hajime Oosaka and Tetsuo Tosa: Fundamental study on comprehensive radiation exposure management for measuring patient entrance doses in cardiac interventional procedure and cardiac computed tomography. JRC2014 (第69回日本放射線技術学会総会学術大会), Yokohama, PACIFICO YOKOHAMA, Apr.10-13, 2014. (CyPos 受賞)

加藤 守, 千田 浩一, 松本 和則, 吉田 恭平, 佐々木 文昭, 佐々木 正文, 大阪 肇, 土佐 鉄雄: 蛍光ガラス線量計を用いた経皮的冠動脈インターベンション時の患者被曝線量実測に基づいた間接的患者被曝線量推定法. 第35回日本心血管インターベンション治療学会東北地方会, 郡山市, ホテルはまつ, 2月15日, 2014.

加藤 守: PCI-Live 解説. 鎌倉ライブデモンストレーション 2013, 横浜市, 横浜日石ホール, 12月20-22日, 2013.

加藤 守, 千田 浩一, 松本 和規, 吉田 恭平, 佐々木 文昭, 佐々木 正文, 大阪 肇, 土佐 鉄雄: 血管撮影装置の総濾過の変化がガラス線量計に与える影響. 第3回東北放射線医療技術学術大会, 福島市, コラッセふくしま, 11月3日, 2013.

加藤 守, 千田 浩一, 盛武 敬, 小口 靖弘, 加賀 勇治, 坂本 肇, 塚本 篤子, 川内 覚: 心臓インターベンション時の皮膚入射線量実測による多施設線量評価. 第41回日本放射線技術学会秋季学術大会, 福岡市, アクロス福岡, 10月17-19日, 2013.

加藤 守: 心カテ時の被曝防護の基礎. 第11回仙台 PTCA ネットワーク・ライブデモンストレーション (招待講演), 仙台市, 仙台市情報・産業プラザ (アエル), 10月12日, 2013.

加藤 守: 被曝低減の基礎について. 第6回日本脳神経血管内治療学会学術集会 (招待講演), 静岡市, 男女共同参画センター あざれあ, 9月7日, 2013.

加藤 守, 佐藤 匡也, 寺田 茂則, 吉田 恭平, 佐々木 文昭, 大阪 肇: PCI 時における最大皮膚線量算出に関する検討. 第 22 回日本心血管インターベンション治療学会・学術集会(招待講演), 神戸市, 神戸ポートピアホテル, 7 月 11-14 日, 2013.

加藤 守, 大阪 肇, 土佐 鉄雄, 松本 和則, 吉田 恭平, 佐々木 文昭, 佐々木 正文: カテーテルアブレーション時の手技カテゴリ別線量低減の試み. 第 69 回日本放射線技術学会総会学術大会, 横浜市, パシフィコ横浜会議センター, 4 月 11-14 日, 2013.

加藤 守, 千田 浩一, 盛武 敬, 小口 靖弘, 大阪 肇, 佐々木 正文, 土佐 鉄雄: 未成年者の心臓 IVR における蛍光ガラス線量計を用いた患者被曝線量測定法. 第 69 回日本放射線技術学会総会学術大会, 横浜市, パシフィコ横浜会議センター, 4 月 11-14 日, 2013.

Mamoru Kato, Koichi Chida, Takashi Moritake, Yasuhiro Koguchi, Tadayo Sato, Hajime Oosaka, Tetsuo Tosa and Ken Kadowaki: Study on accurate dose mapping system with radiophotoluminescence glass dosimeter (RPLD) measuring the direct patient entrance dose in cardiac interventional procedures. European Congress of Radiology (ECR) 2013, Vienna, Austria, Mar. 7-11, 2013.

加藤 守: 血管内治療に携わる技師に知ってほしい知識. 第 28 回日本脳神経血管内治療学会学術集会(招待講演), 仙台市, 仙台国際センター・江陽グランドホテル, 11 月 15 日, 2012.

加藤 守: 被曝低減は本当に必要? 第 21 回日本心血管インターベンション治療学会・学術集会(招待講演), 新潟市, 朱鷺メッセ・ホテル日航新潟, 7 月 12 日 2012.

### (3) 研究協力者

佐藤 匡也 (SATO TADAYA)  
会津中央病院・循環器病センター所長

阿部 芳久 (ABE YOSJIHISA)  
秋田県立脳血管研究センター・副センター長

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加藤 守 (KATO MAMORU)  
東北大学・医学系研究科(研究院)・非常勤講師  
研究者番号: 10595573

### (2) 研究分担者

千田 浩一 (CHIDA KOICHI)  
東北大学・災害科学国際研究所・教授  
研究者番号: 20323123

盛武 敬 (MORITAKE TAKASHI)  
産業医科大学・付置研究所・准教授  
研究者番号: 50450432