

様式 3-1

## 論文内容要旨（和文）

氏名 渋谷 幸喜



**論文題目** 冠動脈 CTA における狭窄率計測可能な定量性を有する石灰化プラーク  
除去法と画像構築に関する臨床研究

冠動脈造影 CT (CCTA: Coronary Computed Tomographic Angiography) の撮像性能はソフトおよびハードの技術進歩により著しく向上し、さまざまな循環器疾患の診断・治療において重要な役割を果たしている。日本循環器病学会による本邦での循環器疾患診療実態調査の推移を見ても、循環器疾患診断のゴールドスタンダードである侵襲的冠動脈造影検査 (CAG: Coronary Angiography) は 2004 年 443,409 件、2008 年 460,194 件、2012 年 503,776 件と漸増であるのに対して、CCTA 検査は 2004 年 27,131 件、2008 年 218,249 件、2012 年 393,872 件と大幅に増加している。

CCTA はヨード造影剤を静脈注射し検査を行うため、薬物アレルギー反応に起因する副作用が存在する。しかし重篤な副作用の発生頻度は極めて低く、呼吸困難、急激な血圧低下、心停止、意識消失などの重篤な副作用の発生頻度は、非イオン性造影剤で 0.00～0.04% である。これに対し、CAG の合併症には、出血、血腫、動脈の攣縮、動脈の穿孔、内膜損傷、動脈血栓、動脈塞栓等が存在し、その発生頻度は約 1% であり、ことに死に至る重篤な合併症の発生頻度は 0.05～0.2% である。そのほか CAG と比較し CCTA は、血管内腔と石灰化プラークの両者が評価可能であること、静脈注射だけの低侵襲性検査のため被検者の心身の負担が少ないと、被曝低減技術により従来と比較し大幅な X 線量の低減が可能であること、等の長所を有している。

CT 画像の冠動脈石灰化は Agatston スコアと呼ばれる指標を用いて評価される。これは、石灰化プラーク領域内のそれぞれの画素に、CT 値に応じて設定されている 1 から 4 のスコアを付与し、石灰化プラーク領域内の全画素に対して総和を取ることで得られる。現在臨床では、Agatston スコアに閾値を定め、その値より高い場合は、Blooming Artifact と称される高輝度陰影により血管内腔評価が困難になる可能性が高くなるため、確定診断として CAG 等の追加検査を実施すべきであると推奨されている。SCCT (Society of Cardiovascular CT) により提言された Agatston スコアの閾値は、2009 年には 600 であったのに対し、2010 年には 400 とされた。このような厳格化は、CCTA の著しい撮像性能の向上に逆行するものであり、軽微な症状の被検者にあえて合併症発症の危険性が高い CAG 検査を強いるという可能性も否定できない。CCTA 画像から診断の妨げになる石灰化領域を、画像処理技術を用いて適切に除去できれば、Agatston スコアの閾値を大幅に緩和できる可能性がある。

本研究では、CCTA の優れた長所を被検者に還元するために、血管内腔評価の妨げとなる石灰化プラークを除去するための新しい画像処理法を提案し、その有効性を臨床データに基づいて Agatston スコアの閾値緩和の可能性という観点から示す。提案法は、血管構造の特徴とそれに伴

氏名 渋谷 幸喜

う CT 値の変化に着眼し、最適な再構成関数で CT 再構成された画像に 8 近傍ラプラシアン鮮鋭化フィルター係数を適用することで、石灰化plaque 領域の強調および除去を行う。将来的な計算機による自動化という含意を込めて、ADSI (Automatic Detection Using Structural Information) 法と名称した。本研究ではさらに、ADSI 法により得られた情報を医師が診断しやすい形態で提供するための新しい画像表示方法を提案する。

はじめに、ADSI 法に基づく画像処理を最適条件下で行うために、CCTA 臨床画像を用いて再構成関数の選択および 8 近傍ラプラシアン鮮鋭化フィルター係数の最適化を行った。実験より、再構成関数は、低周波と高周波を強調するタイプが、石灰化plaque を最も明瞭に表示した。また、8 近傍鮮鋭化フィルター係数は、中心係数 9、周辺係数 -1 が、石灰化plaque を最も鮮明に表示した。

次に、PCI (Percutaneous Coronary Intervention: 冠動脈形成術) ステントを用いた物理ファントムを撮像した CT 画像に対して、上で得られた処理条件で提案法を適用した結果、著しい Blooming Artifact の存在下にも関わらず、ステントの構造を明瞭に抽出することができた。

さらに、自作模擬血管ファントムの CT 画像に対して提案法を適用することで、石灰化plaque 除去の精度を定量的に計測した。提案法は、石灰化plaque 領域を、約 100 HU から 1745 HU までの CT 値の範囲で 10% 以内の誤差で計測できることを確認した。

最後に、臨床データに対して、提案法を適用し、有効性を評価した。2012 年 11 月から 2013 年 7 月まで日本海総合病院で CCTA と CAG を行った 64 症例に対し、CAG を模範解答とし、感度・特異度・陽性的中率・陰性的的中率を評価した結果、感度・特異度・陽性的中率・陰性的中率は、感度・特異度・陰性的中率が数% の向上であったのに対し、陽性的中率は 36% から 62% と大幅に向上した。この改善は、Agatston スコアの閾値設定を大幅に緩和できることを示唆するものである。対象データを用いて試算した結果、閾値は約 1000 まで緩和できることがわかった。本研究において提案した方法を用いることで、循環器疾患患者に診断精度が高く安全で経済的・身体的な負担の少ない CCTA 検査を提供できることが期待される。

# 学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成27年2月17日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 湯浅 哲也



副査 新関 久一



副査 山本 修



副査 深見 忠典



学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	氏名 渋谷 幸喜		
論文題目	冠動脈 CTA における狭窄率計測可能な定量性を有する石灰化plaques除去法と画像構築に関する臨床研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成27年1月28日～ 平成27年2月17日
論文公聴会	平成27年2月17日	場所	工学部 7-302 教室
学力確認結果	合格	学力確認年月日	平成27年2月17日

## 学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

本研究では、CCTA(Coronary Computed Tomographic Angiography) の優れた長所を被検者に還元するために、血管内腔評価の妨げとなる石灰化plaquesを除去するための新しい画像処理法を提案し、その有効性を、臨床データに基づいて Agatston スコアの閾値緩和の可能性という観点から示す。提案法は、血管構造の特徴とそれに伴う CT 値の変化に着眼し、最適な再構成関数で CT 再構成された画像に 8 近傍ラプラスアン鮮鋭化フィルター係数を適用することで、石灰化plaques領域の強調および除去を行う。本研究ではさらに、提案法により得られた情報を医師が診断しやすい形態で提供するための新しい画像表示方法を提案する。

はじめに、提案法に基づく画像処理を最適条件下で行うために、CCTA 臨床画像を用いて再構成関数の選択および 8 近傍ラプラスアン鮮鋭化フィルター係数の最適化を行った。次に、PCI (Percutaneous Coronary Intervention: 冠動脈形成術) ステントを用いた物理ファントムを撮像した CT 画像に対して、上で得られた処理条件で提案法を適用した結果、著しい Blooming Artifact の存在下にも関わらず、ステントの構造を明瞭に抽出することができた。最後に、臨床データに対して、提案法を適用し、有効性を評価した。2012 年 11 月から 2013 年 7 月まで日本海総合病院で CCTA と CAG (Coronary Angiography: 心臓カテーテル検査)を行った 64 症例に対し、CAG を模範解答とし、感度・特異度・陽性的中率・陰性的中率を評価した結果、感度・特異度・陽性的中率・陰性的中率は、感度・特異度・陰性的中率が数%の向上であったのに対し、陽性的中率は 36%から 62%と大幅に向上した。この改善は、Agatston スコアの閾値設定を大幅に緩和できることを示唆するものである。対象データを用いて試算した結果、閾値は約 1000 まで緩和できることがわかった。本研究において提案した方法を用いることで、循環器疾患患者に診断精度が高く安全で経済的・身体的な負担の少ない CCTA 検査を提供できることが期待される。

申請者の提案した手法は、臨床医学の今後の発展に大いに資すると期待されるものであり、学位論文としてふさわしいと判断される。申請者は第一著者として、本研究成果を学術論文および国際学術会議において発表しており、すでに論文執筆に関する基準をクリアしている。提出者の当該分野に対する専門知識および研究姿勢は申し分なく、得られた成果およびその発展性は非常に評価される。以上に鑑み、審査結果を合格とした。

## 学力確認の結果の要旨

博士論文公聴会における質疑応答、および個別面接試問により、研究の進め方、関連する専門知識、語学力、理解力など、博士（学術）として必要とされる能力を備えていると認められたので、合格と判定する。