

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第13号

2015年4月

光産業創成大学院大学

はしがき

本編は学位規則(昭和 28 年 4 月 1 日 文部省令第 9 号)第 8 条による公表を目的として、2014 年 3 月に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の概要及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は学位規則第 4 条第 1 項(いわゆる課程博士)によるものであり、乙は学位規則第 4 条第 2 項(いわゆる論文博士)によるものであることを示す。

目 次

学位番号	学位の種類	氏 名	論文題目	頁
甲第24号	博士（光産業創成）	花嶋 正昭	画像認識を用いた地形形状計測システムと画像検索可能化システムの開発及び顧客開発モデルによる両システムの事業化	3
甲第25号	博士（光産業創成）	岡田 裕之	PET 技術によるがん・認知症の早期発見と高周波領域非可聴音聴取による高齢者の脳活性化に関する研究ーがんと認知症の減少と元気老人の創出への実践に向けた取組みー	6

氏名	花嶋正昭
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第24号
学位授与年月日	平成27年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	画像認識を用いた地形形状計測システムと画像検索可能化システムの開発及び顧客開発モデルによる両システムの事業化
論文審査委員	主査 教授 坪井昭彦 教授 瀧口義浩 准教授 石井勝弘 講師 花山良平 教授 高橋宏誠

論文の概要

本論文は、さまざまな画像中の特徴点を抽出するアルゴリズム開発に基づく「画像認識技術」を利用した二つのシステム開発と、「顧客開発モデル」を用いたそれらの事業化検討について述べている。

今回開発したシステムの新規性は、以下の2点である。

【新規性①】砂浜のような自然を撮影した複数枚の画像から特徴点を抽出し各画像間の対応点を検知することで、3次元マッピングを構築するアルゴリズムを作成し、ソフトウェア実装に成功。

【新規性②】画像認識技術とテキストマイニング処理を融合させ、デジタル画像の特徴点をその画像の「検索タグ」として付加し、その特徴を表す「キーワード」で検索可能化。これにより、ネットや個人の有する膨大なデジタル画像や写真を自動的に分析し、必要とする画像や写真をキーワードで簡単に抽出できるという世界初のサービス提供可能。

第1章では、本論文の背景（遠州灘に面する砂浜の気象インパクトによる形状変動モニタリングプロジェクト（総務省主導）への参加を契機とし、3次元自然地形自動計測の重要性認知）と、研究目的が示されている。

第2章では、画像認識技術（画像を解析し、自動で被写体の特徴点抽出、検出）の現状と画像認識照合のアルゴリズムについて示されている。画像認識アルゴリズムには様々な種類が存在し、目的によって使い分ける必要がある。アルゴリズムの選択の過程を述べている。

第3章では、画像認識技術の事業化手法として用いる「顧客開発モデル」の概要を述べている。

第4章では、従来手法では特徴点抽出が困難であった砂浜のような自然地形の3次元地形計測システムの開発と検証結果について述べている。

第5章では、開発された3次元地形形状計測システムの事業評価と顧客開発、具体的には自然災害時に法律で義務付けられた地形計測で人間が近づけない危険箇所計測ニーズとその事業化に関して述べている。

第6章では、画像の意味認識による画像の検索可能化システムの開発について述べている。3次元地形計測システムの開発で使用した Wavelet 変換を応用し、写真などの画像の特徴点を利用して自動タグ付けシステムを開発することにより、言語化されていない大量の画像ファイルの検索効率が飛躍的に高まることを示している。

第7章では、「顧客開発モデル」（第3章に概要）を用いての画像検索可能化システムの事業化検討について述べている。

第8章では、画像認識技術を用いた2つの事業（第5章に示された「3次元地形計測システム事業」と、第7章で示された「画像検索可能化システム事業」）の実践状況と、当該事業を軌道に乗せるためのロードマップについて述べ、第9章にて本論文全体としての結論を述べている。

審査結果の要旨

学位申請者は、派遣元企業が参画した総務省遠州灘プロジェクト（先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災のためのプロジェクト）に1メンバとして参加し、画像認識技術を応用した3次元地形形状計測の重要性と自動化の困難さを認識し、事業としての将来性を見出した。本学位論文での研究は、画像認識技術を応用した2つの技術開発と事業化、即ち①地形形状計測システムの開発・事業化と②画像検索可能化システムの開発・事業化である。

【新知見度】

①3次元地形計測システムのための特徴点抽出には、a) 砂浜のなだらかさや礫や小石のエッジ画像の輝度変化を特徴として抽出。b) 形状再現するために取得する特徴点が、1000点以上必要。c) 画像全体に特徴点がメッシュ状に一様に分布。という3つの条件を満たす必要があることと共に、砂浜画像の特徴点取得には、4次の離散 wavelet 変換が有効であることを明らかにした。

②画像のような言語化されていないデータを検索可能化するには、タグ付けやカテゴリー分類が必須であり現在は人手で行われている。大量のデータを取り扱うには、作業の自動化が不可欠である。言語化、分類されていない画像データの特徴点抽出と識別、モデルとの照合によって類似画像を自動で検索するシステムを開発した。

【社会的貢献度】

①自然災害発生に関して、地形計測を行うことが、法律（土砂災害防止法）で地方自治体に義務付けられている。土砂災害に関する情報の収集が遠隔地から可能（防災用無人航空ロボットにより2 km まで離れた場所の土砂災害時の地形計測を実現）となる。当に安全、安価で実用可能な防災技術を提供する「自然に優しい」、「人に優しい」技術である。

②画像のような言語化されていないデータを大量に扱い、検索可能化するニーズに対して自動タグ付け、自動分類可能とする要素技術を提供する。ネットや個人の有する膨大なデジタル画像や写真を自動的に分析し、必要とする画像や写真をキーワードで簡単に抽出できるという世界初のサービスを提供可能としたことは、ビッグデータ活用への貢献が期待できる。

【ビジネス業績】

①公共セクター（防災計測）と一般セクター（土地家屋調査計測）に商機の存在が明らかになった。海洋土木調査会社とのアライアンス構築を最優先して取組む経営方針で臨んでいる。

②写真撮影を行い、ネットワーク上で画像の再利用をする個人に対し、言語での画像検索サービスの提供が、新規ビジネスとして成立し得ることを明らかにした。推定される顧客市場規模は世界で約1.8億人、成長性は年間15%程と見込まれている。

【学術業績】

①査読付き学術論文として「海浜地形変化モニタリング用の可搬型三次元計測システムの開発」をまとめ、同内容を土木学会講演会でも発表している。

②特許「自動タグ生成装置、自動タグ生成システム」を出願済みである。

なお、公聴会では事業構想とその成立性に関して懐疑的な質問、コメント等があった。現時点で競合が無いものの、先行者優位を取れるような事業の仕組みを構築して行くことが重要な事業課題として学位申請者も認識し、具体的方策も論文に記述されている。

本論文は本学の学位規則及び関連する内規基準を満たしているものと判断し、審査委員会は全員一致で博士(光産業創成)の学位授与に値するものと判定した。

氏名	岡田裕之
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第25号
学位授与年月日	平成27年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	PET技術によるがん・認知症の早期発見と高周波領域非可聴音聴取による高齢者の脳活性化に関する研究 ーがんと認知症の減少と元気老人の創出への実践に向けた取組みー
論文審査委員	主査 教授 藤田和久 准教授 内藤康秀 准教授 横田浩章 講師 沖原伸一郎 教授 江田英雄

論文の概要

本論文は、がんと認知症を減少させる取組みと、健康寿命の長い高齢者、すなわち元気老人の創出へ向けての取組みを論じたものであり、7章で構成されている。

第1章には、研究の目的、背景、がん早期発見の重要性、認知症早期発見の重要性、予防的アプローチの重要性、本論文の構成が、それぞれ記述されている。日本は高齢化先進国であり、50年後には65歳以上の人口比率が40%に達する。国民医療費は国民所得額の10%以上となり、そのうち70%以上が65歳以上の高齢者のがんや認知症に対するものである。これらの疾病の罹患者は近年急激に増加しており、対策が急務となっている。一方、これらの疾病は早期発見が重要と分かっているが、日本国内の検診受診率は世界水準の半分にとどまっている。本研究では、このような少子高齢化に伴う、医療費高騰、税収減少という日本社会が抱える問題を解決すべく、がんと認知症の早期発見を目的とした。そのために、光技術を応用したPET (Positron Emission Tomography) 装置開発と、浜松光医学財団附属の浜松PET診断センターの設立と運営に関して、主要メンバーの一員として参加し、さらに、元気な高齢者を創出する取組みとして高周波領域非可聴音を用いた脳の活性化の研究を行った。また、予防的アプローチへの対応として、PET診断センターの将来展開に向けたビジネスモデルの構築を行ったことが記述されている。

第2章には、PET技術の原理と機能情報計測の概論、PET技術研究の経緯、筆者が関わったPET装置開発の経緯、PET診断センター設立と運営が、それぞれ述べられている。PET装置の開発については、人間工学に基づいた快適設計を進め、座位計測が可能な装置を開発した。筆者は所属する浜松ホトニクスにおいて長年PETの概念設計から基本設計・実装設計まで担当した。生体機能情報取得のためのPET検査は、従来病院で行われている寝たままでなく、極力活動状態に近い形(自然体)で検査することが重要と考え、座位

や立位の対応が可能な頭部 PET や動物用 PET を、筆者が中心となって概念設計をおこない、関連する特許を多数取得した。この新規 PET 開発は世界初の試みであり、装置を使用する研究者から良い評判を得て、国内外から共同研究の申し入れがある状況が現在も続いている。これら、開発してきた PET 装置を疾病の予防に役立てるため、臨床研究や診療を行う浜松光医学財団附属の浜松 PET 診断センターの設立に主要メンバーとして参加した。法律上、民間企業は医療行為ができないために、研究用 PET 開発企業による別法人スタートは国内外から非常に期待されたものであった。

この PET 診断センター利用におけるがんと認知症の画像診断により、早期発見に効果があることが判明した。がんでは、エネルギー源であるグルコースの代謝の亢進を、認知症ではグルコースの代謝低下を、脳機能画像として取得した。

第 3 章には、がんの早期発見、前向きコホート研究、それらに対する国内外からの評価が記述されている。がんの早期発見のためには、エネルギー源であるグルコースの代謝の亢進を、機能画像として得る。がん早期発見に関しては、所属企業の従業員から公募した約 1,200 名を対象に登録後 5 年間のがん検診を行い、PET などを用いた複合画像診断が有効であり、がん死亡者の半減やがん治療に関わる医療費の約 10%削減という効果があることがわかった。この検証は PET がん検診としては世界初の、前向きコホート研究として内外から注目された。また、それらの追跡調査などで蓄積したがん検診データベースは大きな財産となっている。

第 4 章には、認知症の早期発見、脳グルコース代謝のデータベース作成、データベースを用いた認知症診断支援法 (CAD) の開発の実用化が記述されている。認知症の早期発見のためには、エネルギー源であるグルコースの代謝低下を、脳機能画像として得る。認知症についても、がんの早期発見に加えて、脳データベースを構築しながら、この脳データベースに基づく新たな診断支援法を確立した。

第 5 章では、高周波非可聴音聴取による高齢者の脳賦活を目的として、高周波非可聴音の録音、分析システム、呈示装置を構成し、若中年者及び高齢者を対象とした高周波非可聴音聴取時の脳波計測と PET 計測に関して、それぞれ記述されている。PET 計測を高周波領域非可聴音による脳活性化の研究に応用し、若中年者と高齢者を対象とした実験により、年齢に関係なく非可聴音が脳幹を活性化させることを実証した。特に高齢者に対する実証は初めてであった。周波数 22 kHz 以上の音は聞くことができない非可聴音と呼ばれ、非可聴音が脳を活性化させることを報告した先行研究が注目されているが、それらはガムラン音楽や熱帯雨林の環境音を音源に用いており、追実験をするのが難しい。そこで本研究では高機能オーディオシステムを用いて市販の音源を使って非可聴音を提示するシステムを構築した。このシステムを用いて、若中年者に高周波領域非可聴音を聴取させたところ、後頭部にて脳波の α 波成分が有意に増大する結果を得た。これは従来の研究知見と合致するものであった。次いで、若中年者と高齢者を対象に、高周波領域非可聴音を含む音楽を聴取させたところ、脳幹部の中脳が賦活することを PET 画像によりつきとめた。

第6章には、設立したPET 診断センターを企業内起業組織と位置づけて成功要件の検討、地域連携の重要性、ヘルスケアサービスを目指した高齢者認知精神活動評価、POMS と行動アンケート、ヘルスケアサービス推進の方向性が、それぞれ記述されている。高周波非可聴音を含む音楽が高齢者の脳幹を賦活させることをPET にて計測した。次いで、地域の施設の協力のもと、被験者に非可聴音を含む音楽を提示する群と非可聴音を含まない音楽を提示する群との2つに分け、17ヶ月間の経過を調べた。POMS と呼ばれる気持ちの度合いを示す検査と、自らの行動を振り返るアンケート調査を行った結果、音楽提示終了後に、非可聴音を含む音楽を提示した群に有意に認知神経活動が活発になっている結果が得られた。このように、筆者が設立・運営にあたった企業内起業組織としてのPET 診断センターが、科学的に元気な高齢者を創出することを裏付けられたことを受け、このセンターが今後発展的に継続して予防的アプローチとしてヘルスケアサービスを提供できるビジネスモデルを構築した。今までこのセンターをカーブアウト型組織ととらえ、早期発見を目的とした検診事業を展開してきたが、高齢者の活性化を対象としたヘルスケアサービスの展開ではさらに小回りの利くベンチャー組織により推進するのが好ましいと考え、ベンチャー組織の概念をまとめた。

第7章には、本研究の結論、まとめ、今後の展望と課題が記述されている。本研究で取り組んだPET 装置開発、PET 診断センターの設立・運営、非可聴音を用いた脳の活性化の研究、PET 診断センターの将来展開としてビジネスモデルの構築は、全て健康増進に貢献できる技術・仕組みであり、多くの元気老人の創出につながると考えられる。今後は、ビジネスモデルで構築した組織を、最初は小回りの利く小さなベンチャー組織で開始させ徐々にヘルスケアサービス事業として展開し、新たな光産業の創成に寄与すると方向性を示し、本論文を締めくくっている。

審査結果の要旨

本論文は、PET (Positron Emission Tomography : 陽電子放射断層撮影) 装置の開発、PET 診断センターの設立と運営、がん早期発見の取り組み、認知症早期発見の取り組みなどをふまえて、高周波非可聴音による若中年者と高齢者の脳活動を画像化し、脳幹部が賦活することを世界で初めて示したものである。その効果の利用により、自立した生活を送ることのできる高齢者「元気老人」を数多く創出できる可能性を示すとともに、元気老人創出ビジネスの地域展開について検討したものである。

生体の解剖学的情報の画像化を行うX線CTやMRI(核磁気共鳴イメージング)に対し、機能情報を画像化するPETは小さながんを早期に発見することができる。1975年の米国における最初の開発以来普及が進み、2014年には国内だけで350を超えるPET施設がある。PET診断では、被験者の体内に放射性物質を含む診断薬をあらかじめ注入し、放射性崩壊に起因したガンマ線の発生位置の特定により、グルコース代謝亢進となるがん患部の部位を特定するものである。放射性物質のその場製造を含む取り扱いから、被験者の体

動補正の工夫、高精度ガンマ線計測、ガントリー開発、各種補正を含む画像化ソフトウェア、など、一連のシステムの構築・運用には高い技術と多くのノウハウが必要である。筆者は所属企業における一連の PET 装置の開発に、初期の概念設計から基本・実装設計まで一貫して主導的な役割を果たしてきている。開発した PET 装置を利用し、著者が主要メンバーとなり設立・運用している PET 診断センターは、国内で唯一、PET メーカーによって設立されたものである。加えて、従来の仰臥位診断に対し、より自然な座位や立位における診断を初めて可能にする開発を行うなど、運営のみならずその独創性は高いといえる。現在の PET 診断センターは、扱う診断薬の幅を広げることで多岐にわたる生体機能情報画像を取得できる、世界有数の施設として認められている。これらの構築における独創性とリーダーシップは高く評価できる。この PET 装置開発及びセンター運営があってこそその後述の成果であり、本論文においても、そして元気老人創出に向けても、その意義は大きいと考えられる。

がんの早期発見に有利な PET 診断では、放射線被曝の制限により健常人のデータを数多く得られない特徴があり、追跡調査が可能な臨床データを得ることは困難とされていた。しかし、関係会社の従業員を対象とすることで 1000 人以上の臨床データベースの構築を可能にし、有意なデータを初めて得た点は世界からも高く評価されている。グルコース代謝亢進の検出によるがんの早期発見と前向きコホート研究による医療費の削減の実証、及びグルコース代謝低下の検出による認知症の早期発見に成果を上げた点は独創性と新規性に富み、評価に値する。

本研究における新知見としての中心テーマは、周波数 22 kHz 以上の高周波非可聴音が脳を賦活する効果についての科学的検証である。その手段として自然体である座位で計測可能な PET 装置を利用している。民族楽器のガムラン音楽や熱帯ジャングルの環境音など、再現実験が困難な条件下で実施された先行研究に対し、最新のオーディオ技術を駆使し、DVD-Audio を音源とした高周波非可聴音を呈示するシステムを開発して再現性を確保した。このシステムを利用して、若年被験者のみの先行研究に対し、若中年者や高齢者を被験者とした脳波計測及び座位 PET 計測を行い、いずれも脳幹が賦活することを新たに見出した。統計検定による科学的手法にもとづき、若中年者と高齢者の PET 脳賦活画像を利用して高周波非可聴音の聴取効果を科学的に実証したことは、新規性と独創性がある学術的な意義が大きい。音源の再現性や利用の簡便性を確保したことは実用化においても高く評価できる。

高周波非可聴音による脳の賦活効果の実証を受け、この効果を利用した予防的医学へのアプローチについて可能性検討を行っている。高齢者を対象にした 17 ヶ月にわたる比較観察から、高周波非可聴音の聴取が高齢者の意欲を高め、怒りを抑える効果を示すことが初めて見出された。新規性と元気老人創出の今後の可能性を示す成果である。さらに、その効果をビジネス展開するための検討を通して実施計画を提案している。

これらの研究成果は、社会的課題に対する具体的提案と実践を主眼とし、かつ技術と経

営の融合を謳う本学の理念に沿っており、高い評価を与えることができる。

学術業績は、在学中の筆頭著者としての査読付き論文が 1 報、共著査読付き論文が日本語 1 報、英語 6 報である。知的財産については国内特許出願 9 件（内、権利化 8 件）、米国出願が 2 件（権利化済）ある。公的資金獲得は、NEDO 委託研究と NIBIO 委託研究の実績がある。プレスリリースは米国 2 件、国内 9 件である。米国核医学会からの受賞歴がある。

公聴会においては、高周波非可聴音に関する内容、今後のビジネス展開に関する内容など、多くの質問が出され、いずれの質問に対しても適切な対応がなされた。

以上、本論文は学位授与に関する細則と内規の基準を満たしており、審査員全員の一致にて、博士（光産業創成）を授与するに値すると判定された。