

博士学位授与論文の内容の要旨  
および審査の結果の要旨

# 博士学位授与論文の内容の要旨および審査の結果の要旨

成蹊大学

学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日 文部省令第 9 号）第 8 条の規定による公表を目的として、本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を次のとおり掲載する。学位記番号に付した乙は本学学位規則第 3 条第 4 項によるものである。

氏名	川崎 兼司
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	乙第 67 号
学位授与年月日	2007 年 9 月 12 日
学位授与の用件	学位規則第 4 条第 2 項該当者
学位論文題目	フォーム構造及びバルーン構造を有する多孔質セラミックス材料の製造
論文審査委員	主査 尾崎 義治 委員 小島 紀徳・加藤 明良 大門 正機（東京工業大学大学院理工学研究科）

## 〔論文内容の要旨〕

セラミックス材料の多孔質化は、他の材料と同様に材料本来の特性に加え、気孔由来の様々な特性を付与するため重要である。また、緻密多結晶体である通常のセラミックス材料においても、多孔質化を通じて材料特性に大きな影響を及ぼす微細構造を連続的に、あるいはドラスティックに変化させることができるため、新たな特性の発現や従来の材料特性の変化が期待できる。本学位論文では、セラミックス材料開発において有用な材料形態であるフォーム（気泡分散）構造とバルーン構造を対象に、 $\mu\text{m}$ オーダーの気孔と  $\mu\text{m}$  から  $\text{nm}$  オーダーのマトリックス相構造を有する多孔質セラミックス材料の汎用性の高い製造方法の検討を行った。本論文は全 10 章からなっており、各章において得られた結果は次のように要約される。

第 1 章では、この研究の背景、目的などについて述べた。

第 2 章では、酸化物／高分子微小球複合グリーンシートからの高分子抽出によるチタン酸ストロンチウムセラミックフォームの作製を検討した。SrTiO<sub>3</sub> 微粒子-水

系サスペンションを Sr(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>2</sub> と Ti(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub> の加水分解により調製した。ポリスチレンマイクロ球と PVA（ポリビニルアルコール）をこのサスペンションに添加（重量比：SrTiO<sub>3</sub>/ポリスチレン/PVA=100/60/8）し、前駆体グリーンシートを作製した。グリーンシートは、SrTiO<sub>3</sub> マトリックス相にポリスチレンマイクロ球が分散した構造であった。ポリスチレンマイクロ球は、熱処理前にグリーンシートから有機溶媒を使って溶解した。グリーンシート寸法は溶解抽出に対しきわめて安定であった。球状気孔を有するセラミックフォームが、抽出後のグリーンシートを熱処理することにより得られ、グリーンシートからセラミックフォームへの焼成収縮は 20%であった。

第 3 章では、金属アルコキシドから合成された SrTiO<sub>3</sub> 微粒子の水中における分散に対するポリオキシエチレン系界面活性剤の効果とそれらの SrTiO<sub>3</sub> 膜形成に及ぼす影響を検討した。7 種類の界面活性剤を試験した。これらのうち、分子内にカルボキシル基を有する界面活性剤が、すぐれた分散効果を有していた。この界面活性剤は水に溶解し、界面活性剤溶液の流動挙動は、ニュートン流体を示した。界面活性剤を添加して凝集制御した

SrTiO<sub>3</sub>微粒子-水系サスペンションを用いて、グリーンシートを作製した。得られたグリーンシートは、直径が1 μm以下の粒子で形成されており、界面活性剤の添加効果により、グリーンシートの構成粒子は解膠分散され、より微細化されていた。グリーンシートを1300°Cで熱処理することにより変形や破損のないSrTiO<sub>3</sub>セラミックスシートを得ることが出来た。

第4章では、金属アルコキシドから合成されたSrTiO<sub>3</sub>微粒子-水系サスペンション中の凝集粒子に対する陰イオン界面活性剤の分散効果とシート成形に及ぼす影響を検討した。実験では5種類の界面活性剤が試験された。これらの界面活性剤は全てSrTiO<sub>3</sub>微粒子に対する分散効果を有していた。グリーンシートが、界面活性剤とPVAを添加されたSrTiO<sub>3</sub>水系-サスペンションから調製された。クラックや変形の無いグリーンシートは、油性アルキルベンゼンスルホン酸型界面活性性を添加した2種類のサスペンションから得られた。これらのグリーンシートは1 μm以下の粒子から構成されたおり、これらを1300°Cで熱処理することにより、SrTiO<sub>3</sub>セラミックスシートを得ることができた。グリーンシートからSrTiO<sub>3</sub>セラミックスシートへの焼成収縮率は約30%であり、得られたSrTiO<sub>3</sub>セラミックスシートの焼成密度は4.97g·cm<sup>-3</sup>であった。

第5章では、酸化物/高分子微小球複合グリーンシートからの高分子抽出により、球状気孔を有するチタン酸ストロンチウムセラミックフォームが作製された。実験では高分子微小球としてポリスチレンマイクロ球を使用し、水系の原料サスペンションは、Sr(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>2</sub>とTi(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>混合アルコキシド溶液の加水分解によって調製され、サスペンション中のSrTiO<sub>3</sub>粒子の凝集は、油性アルキルベンゼンスルホン酸型陰イオン界面活性剤の添加によって分散された。これにより、グリーンシート中の5 μm以下の微細な気孔の形状も球状に制御することができた。SrTiO<sub>3</sub>とポリスチレンマイクロ球の質量比が100/0, 100/50, 100/100, 100/150, 100/200の5種類のポリスチレンマイクロ球含有グリーンシートが調製され、ベンゼンによってポリスチレンマイクロ球を抽出後、熱処理された。グリーンシートの焼成収縮は、ポリスチレンマイクロ球の含有量の増加にともなって31.1%から41.2%まで増加した。SrTiO<sub>3</sub>フォームの気孔率は、3.7%から74.0%までの範囲で変化し、グリーンシート中のポリスチレンマイクロ球の添加量を変えることにより任意に制御することが可能であった。SrTiO<sub>3</sub>フォーム中の閉気孔はポリスチレンマイクロ球の含有量の増加にともなって開気孔に変化した。

第6章では、ジルコニウムテトラブトキシドのF/B/F（ホルムアミド/ベンゼン/ホルムアミド）エマルジョン系を利用するジルコニアバルーン合成について検討している。0.5から2.0mol·l<sup>-1</sup>濃度のZr(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>ベンゼン溶液がホルムアミドに分散された。形成されたZr(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>ベンゼン溶液の液滴は、ベンゼンがホルムアミドによって抽出されるためにホルムアミド中で硬化した。そしてその後、ジルコニア前駆体バルーンを得るために水で加水分解された。ジルコニア前駆体バルーンは、1.2mol·l<sup>-1</sup>のジルコニウムテトラブトキシドベンゼン溶液から良好に合成された。得られたジルコニア前駆体バルーンの粒子径は150 μmから450 μmであった。このジルコニア前駆体バルーンを、1300°Cにおいて熱処理することによりジルコニアバルーンを得ることができた。この熱処理によって得られたジルコニアバルーンは、100 μmから350 μmの粒径であった。ジルコニア前駆体バルーンからジルコニアバルーンへの1300°Cの熱処理に伴う重量減少は、34.5mass%で、体積収縮は45vol%であった。ジルコニアバルーンは、0.2 μmの粒子で形成されており、バルーン表面及びバルーン殻内部には、50 nmの気孔が見られた。

第7章では、F/B/Fエマルジョンの微細化によるジルコニアバルーンの微小化と球径の減少に伴うバルーン殻構造の変化が検討された。ティスパーサーによる8000r.p.m.の分散条件においては、1.5mol·l<sup>-1</sup>のZr(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>ベンゼン溶液から良好なジルコニアバルーンを得ることができた。ジルコニアバルーン前駆体は1 μmから50 μmの球径分布をもち、20 μm付近にピークが見られた。ジルコニアバルーン前駆体を1300°Cで熱処理することによりジルコニアバルーンが得られ、その球径分布は、1 μmから45 μmで10 μm付近にピークが見られた。熱処理後において91%が破損のない良好なバルーンであった。ジルコニアバルーン殻の構造は、殻厚に伴って変化した。バルーン殻厚が1.5 μm以上の場合、バルーン殻は直径0.3 μm程度の粒子によって形成され、緻密な内外の表面層を有していた。これらの表面層の間には、気孔が観察された。バルーン殻厚が0.9 μmから0.3 μmの場合、バルーン殻は1個から3個の直径0.3 μm程度の粒子によって形成されていた。バルーン殻厚が0.3 μmより薄くなると、1個の板状粒子だけで形成されていた。

第8章では、殻を貫通する気孔を有するジルコニアバルーンが、ポリスチレンを添加したZr(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub>ベンゼン溶液をホルムアミドに分散させることにより合成された。ジルコニアバルーン前駆体はF/B/Fエマルシヨ

ン中に形成された。F/B/Fの液滴からベンゼンがホルムアミド中に抽出されると、ポリスチレンと $Zr(OC_4H_9)_4$ は相分離し、F/B/Fの液滴は硬化した。ジルコニアバルーン前駆体の殻中においては、球状のポリスチレンが $Zr(OC_4H_9)_4$ マトリックスに分散しており、殻の厚さは $2\mu m$ 程度であった。ポリスチレン球の直径は殻厚と同程度で、それらはベンゼンによって抽出除去された。殻中に残された球状気孔は、バルーン殻の内表面側に開口した開気孔であった。バルーン前駆体を塩酸でエッチングすることにより、球状気孔は、殻の外表面側に貫通した。塩酸処理後のジルコニアバルーン前駆体は、 $1300^\circ C$ で熱処理することによりその気孔構造を損なうことなく焼成体に変化した。熱処理後のジルコニアバルーンは $1\mu m$ から $35\mu m$ の直径で、平均粒径は $10\mu m$ 程度であった。

第9章は、「総括」であり、本研究の成果がまとめられている。

第10章は、論文リストである。

以上のように、本研究では多孔質化を試みるセラミックス材料に、実際の応用において重要性の高いセラミックス材料であるチタン酸ストロンチウムとジルコニアを選び、第2章から第5章においては酸化物/高分子微小球複合グリーンシートからの高分子抽出によるチタン酸ストロンチウムセラミックスフォームの製造を、また第6章から第8章においては2種類の不混和な液体の分散系を利用したジルコニアバルーンの製造を検討し、共に $\mu m$ オーダーの気孔と $\mu m$ から $nm$ オーダーのマトリックス相構造を有する多孔質セラミックス材料の汎用性の高い製造方法の確立に成功している。これらの方法は、セラミックス材料の開発において新たな開発手法を提供するものであり、学術的および工学的に意義が極めて高いものであると考えられる。よって、本論文は博士(工学)の学位論文に値するものであると認める。

## [論文審査の結果の要旨]

本学位論文は、セラミックス材料の開発において有用な材料形態であるフォーム（気泡分散）構造とバルーン構造を対象に、微細構造に大きな変化を生じる $\mu m$ オーダーの気孔と $\mu m$ から $nm$ オーダーのマトリックス相構造を有する多孔質セラミックス材料の、汎用性の高い製造方法の検討に関するものである。

本研究では $nm$ オーダーの粒径を有する酸化物超微粒子と $\mu m$ オーダーの粒径を有する高分子微小球の複合グリーンシートから高分子を抽出する方法によるセラミックスフォームの製造方法と、2種類の不混和な液体の分散系を利用し、複合エマルジョンのバルーン状液相中に溶解した殻形成原料ケミカルである金属アルコキシドを硬化するプロセスによるセラミックスバルーンの製造方法を確立した。これらの方法は、使用する酸化物超微粒子や金属アルコキシドの組成を変えることにより種々のセラミックス材料への適用が可能な、汎用性の高い多孔体製造法であり、微細構造制御によるセラミックス材料の開発に新たな開発手法を提供するものである。論文審査にあたっては平成19年7月5日に、各審査委員がそれぞれの専門の立場から、本学位申請者に対して口頭試問を行なった。

その結果、本学位申請者の学位論文の内容および関連分野に関する知識と学力は博士(工学)を受けるに十分な基準を満たしているものと認定した。

# 博士学位授与論文の内容の要旨および審査の結果の要旨

成 蹊 大 学

学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日 文部省令第 9 号）第 8 条の規定による公表を目的として、本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を次のとおり掲載する。学位記番号に付した乙は本学学位規則第 3 条第 4 項によるものである。

氏 名	楊 進
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	乙第 68 号
学位授与年月日	2007 年 10 月 3 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当者
学位論文題目	バイオマス直鎖多糖の化学修飾による機能性多糖の合成
論文審査委員	主査 栗田 恵輔 委員 小島 紀徳・加藤 明良 滝口 泰之（千葉工業大学）

## 【論文内容の要旨】

多糖は生体高分子の一種であるが、エネルギーの貯蔵や生体組織の形成といった面で重要な役割を果たすと認識されてきた。しかし、他の生体高分子である核酸およびタンパクとともに、生命の本質にかかわる重要な役割を果たしていることも明らかにされつつあり、さまざまな分野で多糖に関する研究が活発化している。中でもバイオマス資源であるキチン・キトサンは無毒で生体適合性にすぐれているほか、抗菌、免疫賦活、止血、創傷治癒促進、コレステロール低下などの多くの特異的な生物活性があり、注目されている。

一方、ある種の天然枝分かれ型多糖は抗腫瘍活性を示し、臨床的にも有効であることが証明され、治療に用いられている。更に高い活性をもつ医薬を開発するためには、薬理機作の解明とともに分子構造と薬理活性の関係を議論することが必要である。その第一歩として種々の枝分かれ型多糖を合成し、活性を評価することが望まれる。しかし、構造的に明確な枝分かれ型多糖の調製に関する報告例はほとんどなく、その合成法の開発は緊急な

課題である。本学位論文は多糖に対する効率的で位置選択的な化学修飾法を開発し、それにより非天然の枝分かれ型多糖を合成して生物活性を評価するとともに、種々のキチン・キトサン誘導体を調製して新たな機能性多糖の開発をめざした研究をまとめたものである。

本論文は全 9 章からなっており、各章の内容は以下のように要約される。

第 1 章は「緒論」であり、本研究の目的を解説している。すなわち、天然直鎖多糖が興味深い特性をもちながら有効利用が遅れている現状と原因を分析し、それを解決するためには効率的な化学修飾の手法を開発し、特異的な性質を生かした機能性多糖を合成することが重要であるとしてその意義を詳細に論述している。

第 2 章は「キチン・キトサンの選択的化學修飾と分枝化」と題し、二糖マルトース側鎖をもつ非天然の枝分かれ型多糖の合成と性質について記述している。キトサンにある 3 種の官能基の反応性の相違を利用した位置選択的化學修飾によって C-6 位に単糖を導入する手法は成蹊大学機能性高分子研究室で開発済みであり、本研究ではこれを二糖に拡張することを主な目的としている。

マルトースを導入するためにオルトエステル誘導体を合成し、フタロイル化キトサン誘導体のグリコシル化反応を行った。生成物を適切な方法で脱保護することにより枝分かれ型キトサン、および、枝分かれ型キチンを合成し、側鎖として二糖を導入する方法を確立した。反応条件を選択することにより、置換度は0.6程度まで上げることができた。これらの結果から、他のオリゴ糖も導入できる可能性が示されたことになり、将来的には糖鎖の構造によって機能発現を精密に制御する研究に発展することが期待できる。

得られた枝分かれ型キチン・キトサンは中性の水に可溶であり、吸水性、保湿性の点で直鎖型のキチン・キトサンよりもすぐれていた。また、抗菌活性を測定したところ、通常のキトサンよりも少し低いことが判明した。このことは、抗菌活性の発現はアミノ基の存在だけに依存するのではなく、微生物との相互作用にキトサン誘導体全体の分子構造が関わっていることが示唆された。さらに、本研究で実現した二糖を側鎖にもつ枝分かれ型キトサンは水に対する溶解性が高いため、水溶性の抗菌材料としての応用が考えられる。このような新規な枝分かれ型多糖は、抗菌活性のみならず多岐にわたる生物活性と分子構造との関連を議論する上で有用であろう。

第3章は「カードランの選択的化学修飾と分枝化」である。抗腫瘍活性、免疫賦活作用などの注目すべき生物活性を有するレンチナンに分子構造的に類似した枝分かれ型で、しかも側鎖がアミノ糖である多糖を合成することによって薬理活性の高度化を図った研究結果について述べている。すなわち、レンチナンの主鎖であるカードランに対して一連の位置選択的な化学修飾によってグルコサミン側鎖を導入し、非天然の枝分かれ型アミノ多糖を合成する手法を検討し、その活性を評価している。

グリコシル化反応のアクセプターとして、カードランのC-2位とC-4位の水酸基をフェニルカルバモイル基で保護した誘導体を3段階の反応で調製した。ドナーとしてはグルコサミンからオキサゾリン誘導体を合成した。

これらを用いてグリコシル化反応を行うことにより、C-6位のみ糖側鎖を導入した。また、種々の条件下で反応挙動を調べたところ、オキサゾリン誘導体の量を変化させることによって側鎖の置換度を0.05から1.0まで再現性よく制御することができた。

最後に、上記の枝分かれ型カードラン誘導体から保護基を除去した。反応条件により、グルコサミン側鎖をもつ枝分かれ型カードラン、あるいは、N-アセチルグルコサミン側鎖をもつ枝分かれ型カードランを合成することに成功した。これらの枝分かれ型カードランは中性の水に溶解す

るなど、直鎖型のカードランには見られない特徴的な性質を示した。また、細胞を用いてTNF（腫瘍細胞壊死因子）産生能を測定したところ、高い抗腫瘍性を有していることを見いだした。この結果は、薬理活性高分子の分野で新しい方向性を示唆する成果として評価できる。

第4章は「トリメチルシリル化キチンの調製と反応前駆体としての評価」であり、有機溶媒に可溶なトリメチルシリル化キチンを反応前駆体として検証した結果について論じている。

化学修飾をする場合に重要なことは、副反応でキチン主鎖が大きな変化を受けないことである。そこで、トリメチルシリル化キチンを脱シリル化処理して得られる再生キチンの分子量を粘度法とGPC法を用いて測定し、キチンのシリル化反応と脱シリル化反応はキチン主鎖に大きな影響を与えないことを確認した。

次に、化学修飾の前駆体としての有効性を明らかにするため、シリル化キチンのアセチル化とグリコシル化について検討した。その結果、キチンを直接アセチル化、グリコシル化するよりもシリル化キチンを用いた方が迅速に反応を行えることが判明した。さらに、主鎖と側鎖に同じアミノ糖ユニットをもつ分岐型キチンや分岐型キトサンを調製する場合にも、シリル化キチンを前駆体とすることにより、これまでに提案されていた方法に比べて反応ステップ数を大幅に減らすことを可能にした。

以上のように、トリメチルシリル基は可溶性置換基および反応性基として注目すべき特徴を備えており、トリメチルシリル化キチンは有用な反応前駆体であると結論づけている。

第5章は前章の結果を受けてキトサンのトリメチルシリル化について検討したもので「トリメチルシリル化キトサンの調製と反応前駆体としての評価」と題している。

キトサンに対してもトリメチルシリル化反応は進むが、キチンの場合よりも過酷な条件が必要であった。しかし、条件を選ぶことにより置換度は2.90にまで上昇しており、3種類ある置換基にほぼ完全にシリル基を導入できた。得られたトリメチルシリル化キトサンは有機溶媒への親和性が高いため、反応性も向上していることが予想された。そこで多糖の代表的な反応であるアセチル化を例にとりて反応前駆体としての評価を行ったところ、温和な条件下でも高い反応性を示し、キトサンから各種の誘導体を調製するのに適した前駆体であることを確認している。

第6章は「両親媒性キトサンの調製」と題し、キトサンからの高分子両親媒性誘導体の調製とその界面活性作用について記している。

キトサンのアミノ基のみにアルキル基を導入するために長鎖アルデヒドを用いてシッフ塩基誘導体としたのち、シアノトリヒドロホウ酸ナトリウムで還元してN-アルキルキトサンを調製した。反応は定量的に進み、置換度は1.0であった。次に、コハク酸無水物を反応させて親水性基を導入した。この反応では無水コハク酸の量と反応温度によって置換度を容易に制御できることを見いだした。

得られた生成物は疎水性基と親水性基を合わせもつ高分子両親媒性物質であり、各種の溶媒に対して高い親和性を示した。その界面活性作用を水と油の混合物を用いて調べたところ、疎水性基と親水性基をほぼ1:1の割合でもつ生成物が最も高い乳化作用をもつことが判明した。これらの結果より、両親媒性キトサン誘導体は安全性の高い高分子界面活性剤である可能性が示された。

第7章は「キトサン誘導体によるキラル認識能の発現」であり、キトサンのキラル認識能を向上させるために2位のアミノ基を選択的に化学修飾した誘導体を調製し、これを用いたアミノ酸の光学分割について議論している。

キトサン誘導体の溶解性を上げるために、まずキトサンを低分子化したのち、そのアミノ基にアミノ酸に構造的に類似した置換基を2段階の反応で導入した。この誘導体と銅イオンの酢酸緩衝溶液を移動相とし、汎用の逆相カラムであるODSカラムを装備したHPLCによってアミノ酸の分割を試みたところ、フェニルグリシンやチロシンなどに対して高い分割能が達成された。また、キトサン誘導体をゾル-ゲル法によってシリカゲルマトリックス中に包括したものを固定相として用いた場合にも光学分割が可能であった。

以上のことから、キトサンにアミノ酸部位を導入した誘導体は、金属イオンを介した三元複合体を形成することによってキラル認識能を発現すると説明され、配位子交換型の光学分割に有効であるとの結論に至っている。

第8章は「再沈殿キトサンの調製と反応前駆体としての評価」であり、強い分子間水素結合のために高い結晶性をもつキトサンを再沈殿する方法を工夫し、結晶性を低下させた再沈殿キトサンの調製法、および、その性質についての検討結果を述べている。

キトサンを酢酸水溶液で完全に溶解したのち、アルカリ水溶液中に高い分散状態で沈殿させ、凍結乾燥することによって非晶性で綿状の再沈殿キトサンを調製することに成功した。得られた再沈殿キトサンはアセチル化において通常のキトサンに比べて高い反応性を示した。また金属イオンの吸着挙動を調べたところ、吸着量、吸着速度とも大きく改善されていた。再沈殿キトサンは非晶

性であり、しかも凍結乾燥によってその固体表面積が大きくなったために反応性や吸着能が向上したと説明している。キトサンの有効利用研究を進める上で重要な知見と評価できる。

第9章は「総括」として、本研究で得られた結果についてまとめている。

以上のように、本研究では多糖に対する効率的で位置選択的な化学修飾法を活用し、多くの注目すべき成果を得ている。特に、非天然の枝分かれ型多糖の合成法を確立してその生物活性を明らかにしたこと、また、種々の化学修飾によって調製したキチン・キトサン誘導体を新たな機能性多糖として提示したことは評価できる。これらの成果は、地球上に豊富に存在する未利用バイオマス資源で、しかも環境調和性の天然高分子である多糖の高度有効利用を促進する契機になると期待される。よって、本論文は博士(工学)の学位論文に値するものであると認める。

#### [論文審査の結果の要旨]

本学位論文は、多糖に対する効率的で位置選択的な化学修飾法を活用することにより、非天然の枝分かれ型多糖を合成してその生物活性を評価するとともに、キチン・キトサンの新たな機能発現を企図して行った研究をまとめたものである。多くの成果を得ているが、特に、カードランから調製した枝分かれ型多糖が高い抗腫瘍性を有していることを確認したことは高く評価できる。また、適切な化学修飾の手法を用いて、多岐にわたる新たな機能性多糖を実現した。すなわち、本研究はバイオマス資源である直鎖多糖の機能性素材としての高い可能性を明らかにしたものであり、高度有効利用への道を開く契機になると期待できる。

論文審査にあたっては平成19年9月5日に、各審査委員がそれぞれの専門の立場から、本学位申請者に対して口頭試問を行った。

その結果、本学位申請者の学位論文の内容および関連分野に関する知識と学力は博士(工学)を受けるに十分な基準を満たしているものと認定した。