

佐 賀 大 学  
理 工 学 部 集 報

第47卷 第1号

---

目 次

シュレディンガーの猫状態の判定可能性  
.....遠 藤 隆..... 1

Precious metal ions adsorption on unmodified chitin gels  
.....大渡 啓介・Dan Yu・川喜田英孝・森貞真太郎・井上 勝利... 5

博士論文要旨及び審査要旨公表 .....10

---

平成30年6月

佐賀大学工学部



## シュレディンガーの猫状態の判定可能性

遠藤 隆\*

### Decidability of Schrödinger's cat states

By  
Takasi ENDO

**Abstract:** Schrödinger's cat paradox has been the hardest problem in quantum theory. A model of measurement and decision of quantum states is introduced and review the paradox. When we can decide that the states are definite (i.e. not superposed), it is impossible to decide that a state is superposed of the definite states.

**Key words:** Schrödinger's cat, measurement theory

#### 1. はじめに

量子力学には、「シュレディンガーの猫」と呼ばれる観測にまつわるパラドックスがあり、観測の問題の象徴として長い議論が続いている<sup>(1)</sup>。

基礎方程式が線形である量子力学には重ね合わせの原理が成り立つので、生きている猫と死んでいる猫の重ね合わせ状態が存在するはずなのだが、そのような猫を我々は観測することは現実にはできない。これに対する標準的な解釈は、観測による「波束の収縮」が起きて、重ね合わせ状態が観測できないというものである。しかし、波束の収縮は、重ね合わせの原理を破るため、量子力学的な過程として記述することはできないことや、「観測とは何か」という問題があり、議論が続いている。

この議論において、

「量子力学は、シュレディンガーの猫の存在を予測するのに、それが観測できない」

という主張には、ある前提が隠されている。それは、

「シュレディンガーの猫が存在すれば、それを観測することが（原理的に）可能である。」

ということである。

しかし、もしかしたら、この前提が間違っているかもしれない。すなわち「ある条件の下では、重ね合わせ状態は原理的に観測することができない」ということがあり得る。だとすれば、問題は、「どのような条件の場合に、シュレディンガーの猫は、観測できないのか」ということである。言い換えれば、「観測可能な重ね合わせ状態と観測不可能なシュレディンガーの猫の状態は、何が違うのか」ということである。結論を先に述べると、「シュレディンガーの猫は、もし生きていれば生きていると、死んでいれば死んでいると観測することができる」ということである。確定的に（確率1で）判定可能な複数の量子状態（以下、「確定状態」と呼ぶ。）の重ね合わせ状態は、判定不可能である。重ね合わせ状態だけならば、巨視的であっても現代の技術ならば原理的に実現し判定することが可能である。したがって、シュレディンガーの猫の問題は、猫の生死確定状態の判定可能性とともに考えなければならない。

観測の問題に対する主な解釈は、波束の収縮の他にエベレットの多世界解釈<sup>(2)</sup>及びデコヒーレンス解釈<sup>(3-4)</sup>がある。

多世界解釈は、波束の収縮が起きないとして、複数の状態の重ね合わせ状態を、分岐した世界の並列とみなす考えである。近年、多世界あるいは様々なレベルの多宇宙の考え方は、徐々に受け入れられて

平成30年6月1日受理

\*工学系研究科物理科学専攻

©佐賀大学理工学部

きているようにも見える<sup>(5)</sup>。

デコヒーレンス解釈は、観測対象（たとえば猫）が、自由度の大きい環境系と相互作用することで、統計演算子の非対角成分が事実上消失し、古典的な統計演算子に一致することから、干渉効果の消失を説明するものである。重ね合わせ状態が消失すれば、干渉効果も消失するが、逆は正しくない。干渉効果が消失しても重ね合わせ状態は残っている。したがって、観測の問題がデコヒーレンス理論で解決したと考えるのは早計である<sup>(6)</sup>。

## 2. 判定装置のモデル

ある測定対象とする系と、その測定装置のモデルを以下のように仮定する。

### 入力空間

測定対象となる系を次のようにいくつかのヒルベルト空間の直和で表す。

$$I = I("i") \oplus I("j") \oplus \dots \quad (1)$$

なお、直和成分の部分空間を識別する記号は、適当である。シュレディンガーの猫を考える場合は、たとえば、

$$I = I("alive") \oplus I("dead") \oplus \dots \quad (2)$$

と表すことができるだろう。直和成分が単一の状態ベクトルで構成されていてもかまわない。

### 出力空間

入力空間の状態を測定し出力(表示)する装置も、いくつかのヒルベルト空間の直和空間で表す。

$$O = O("ready") \oplus O("o") \oplus O("p") \oplus \dots \quad (3)$$

この識別記号も適当である。ただし、表示が重ね合わせになっていると、何が表示されているのかわからないので、判定不可能ということになる。判定可能な出力は、特定の部分空間、たとえば $O("o")$ だけが表示されているような場合である。

### 測定作用

測定作用をユニタリー変換 $\hat{U}_M$ で表す。この作用により、入力空間 $I$ の部分空間 $J \subset I$ は、ある出力

空間の部分空間に写像される。

$$\hat{U}_M J \otimes O("ready") \subset J \otimes O("p") \quad (4)$$

なお、測定前は、出力装置の表示は"ready"であり、測定後は、予め与えられた出力空間の直和分解のいずれかが選択されるものとする。これは装置が何かを測定して何か特定の出力を表示するように設計されていると仮定しているからである。

### 判定不可能な例

猫の生死を判定することが可能でも、それらの重ね合わせは判定困難である。猫の生死特定状態に対して生死を表示する出力装置があったとする。

$$\begin{aligned} \hat{U}_M I("alive") \otimes O("ready") &\subset I("alive") \otimes O("alive") \\ \hat{U}_M I("dead") \otimes O("ready") &\subset I("dead") \otimes O("dead") \end{aligned} \quad (5)$$

入力状態には重ね合わせが許されるので、

$$\begin{aligned} \hat{U}_M \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("ready") \\ \subset \{I("alive") \otimes O("alive") \oplus I("dead") \otimes O("dead")\} \end{aligned} \quad (6)$$

となり、特定の出力状態が表示されない。

ボルの規則で半々の確率で生死が表示されると解釈することもできよう。あるいは二つの分岐世界の直和になっているのかもしれない。この場合は、どの分岐世界が、経験主体である私(すなわちクオリア生成の場として現れる<私>)の世界なのか確定できない。

この状況は、判定不可能な場合と言える。

### 判定可能な例

しかし、重ね合わせ状態でも判定可能な場合があり得る。

たとえば、生死にかかわらず、それが猫かどうかの判定を行う場合である。

$$\begin{aligned} \hat{U}_M I("alive") \otimes O("ready") &\subset I("alive") \otimes O("cat") \\ \hat{U}_M I("dead") \otimes O("ready") &\subset I("dead") \otimes O("cat") \end{aligned} \quad (7)$$

この場合は、シュレディンガーの猫を入力しても

$$\begin{aligned} \hat{U}_M \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("ready") \\ \subset \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("cat") \end{aligned} \quad (8)$$

となり、確定的に（確率1で）「猫」という表示が得られる。したがって猫かどうかは判定可能である。もっとも、猫か犬かを判定する装置があって、猫と犬の重ね合わせ状態を入力すると、表示は確定しなくなる。

なお、判定可能であっても、判定結果が正しく妥当であるということが保証されるわけではない。

### 猫の判定

さて、問題の猫の重ね合わせ状態の判定について考える。

この装置は、猫の生または死の状態を入力すると、猫の生死が確定しており、重ね合わせ状態には無いと表示する。すなわち

$$\begin{aligned} & \hat{U}_M I("alive") \otimes O("ready") \\ & \subset I("alive") \otimes O("no") \\ & \hat{U}_M I("dead") \otimes O("ready") \\ & \subset I("dead") \otimes O("no") \end{aligned} \quad (9)$$

この装置が期待される判定機能を持つならば、シュレディンガーの猫の状態を入力すると、

$$\begin{aligned} & \hat{U}_M \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("ready") \\ & \subset \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("yes") \end{aligned} \quad (10)$$

となるはずである。（重ね合わせ状態を入力するのであるから、生死の状態の直和空間から確定状態を除くべきかもしれないが、結果は同じである。）

この入力に対して、ユニタリー変換の性質により、

$$\begin{aligned} & \hat{U}_M \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("ready") \\ & \subset \{I("alive") \oplus I("dead")\} \otimes O("no") \end{aligned} \quad (11)$$

となり、重ね合わせ状態に対しても出力空間の特定の表示だけが選ばれており、装置は「重ね合わせ状態には無い」と確定的に表示することになる。したがって猫状態は、「重ね合わせ状態には無い」と判定可能である。これが本論の（もしかしたら意外な）結論である。

### 3. 解釈

この最後の結果に対して、主に二つの解釈がある。

#### (1) 判定を信じる

装置は、「生きている猫は（生死の）重ね合わせ状態になく、死んでいる猫は重ね合わせ状態になく、

重ね合わせ状態にあった猫も、今や重ね合わせ状態にない」と表示している。

装置の判定は正しいと解釈する。（この立場は、実験装置と実験結果の関係だけが議論すべきことであるという立場でもある。）したがって、重ね合わせ状態の判定結果は、判定前は重ね合わせ状態だったにもかかわらず、理由は分からないが、判定によって確定状態になってしまったのである。これは、いわゆる「波束の収縮」と呼ばれる現象である。

#### (2) 判定を信じない

装置は、「生きている猫は（生死の）重ね合わせ状態になく、死んでいる猫は重ね合わせ状態になく、重ね合わせ状態にあった猫さえも、重ね合わせ状態にない」と表示している。

重ね合わせ状態を入力しても、「重ね合わせ状態に無い」と表示する装置は、判定装置としての必要な機能を持っていない。確定状態に対して”no”と表示する装置は、重ね合わせ状態に対しても、必ず”no”と表示するのであるから、確定状態と重ね合わせ状態を識別し判定する装置は不可能なのである。

だとすれば、「重ね合わせ状態に無い」という判定結果は、実際には「重ね合わせ状態に無い」ということを意味しないのである。なぜなら、（判定可能な確定状態の）重ね合わせ状態にあることを正しく判定できる装置が原理的に存在しないと言わざるをえないからである。

### 4. 考察

シュレディンガーの猫状態が観察できない技術的理由の一つとして、デコヒーレンスがある。多数の自由度を持つ環境と相互作用することで、猫の干渉性が失われる。しかし、干渉現象があれば、重ね合わせ状態にあると言えるが、逆は成り立たない。したがって、デコヒーレンスは、波束の収縮と同じではない<sup>(6)</sup>。（実際には同一視しても多くの場合、不都合はない。）

長い間、一般に受け入れられてきた解釈は、波束の収縮であろうが、波束がいつどのようにして収縮するのかわからないし、そもそもユニタリー変換ではない収縮は、量子力学の理論と両立しない。

もう一つの解釈として、多世界解釈がある。分岐した世界からは他の分岐した世界が観察できないので、重ね合わせ状態が観察できないという解釈である。これは他の分岐世界をこの私が経験できないということである。しかし、なぜ特定の分岐世界の中でクオリアが現れるのかわからない。クオリアは哲学的な難問<sup>(7)</sup>なのである。あるいは仏教の唯識説が言うように、この世界に現れる様々な識の一部

から末那識の働きが<私>というものを生じさせているのかもしれないが、その理由や方法はやはり謎である。

しかし、重ね合わせ状態を観察することができないことを説明するだけなら、全世界を分岐させるまでもない。(エベレット自身、多世界という言葉は使っておらず、観測によって生じるエンタングルメントを計算しているだけである。多世界という概念は、むしろ「観測者から観測できない世界が他に存在する」ということを強調するために導入されたと考えることができる。)

そもそも(確定状態が観察できる場合に)重ね合わせ状態を観察する装置が存在しないならば、そして我々が観察するときは何らかの装置(実験装置だけでなく、脳などの身体を含む)を経由するのだとすれば、そのような装置が原理的に存在しない以上、我々もまた重ね合わせ状態を観察することができないのである。これは量子力学とは矛盾しない。むしろ量子力学による必然の結果と言えよう。

我々が全てのことを正しく判定できるという保証はない。したがって、シュレディンガーの猫が、正しく判定できない現象の一つであると考えerことは自然である。

## 参 考 文 献

- (1) A. Wheeler and W. H. Zurek, eds., Quantum Theory and Measurement, (Princeton Univ. Press, Princeton, 1983).
- (2) H. Everett, Rev. Mod. Phys. 29(1957) 454-462.
- (3) W. H. Zurek, Phys. Rev. D26(1982)1862.
- (4) T. Endo, J. Phys. Soc. Jpn. 56(1988)71-74.
- (5) マックス・テグマーク：『数学的な宇宙』（講談社, 2016)
- (6) 遠藤隆： 科学基礎論研, 第24巻(1996)31
- (7) デイビッド・J・チャーマーズ：『意識する心』（白揚社, 2001)

# Precious metal ions adsorption on unmodified chitin gels

By

Dan Yu, Hidetaka Kawakita, Shintaro Morisada, and Keisuke Ohto\* and  
Katsutoshi Inoue

**Abstract:** Nontoxic and resourceful polysaccharide polymers were used to investigate for precious metal adsorptive recovery. Both of chitins exhibited the adsorption ability for Pt (IV) and Pd (II) compared with other polysaccharide polymers. The adsorption equilibrium was reached within 2 h. The maximum loading capacities for Pt (II) and Pt (IV) adsorption were 0.0865 mol kg<sup>-1</sup> and 0.058 mol kg<sup>-1</sup>, respectively.

**Key words:** Selectivity, Biomass adsorbents, Precious metal ions, Polysaccharide polymers

## 1. Introduction

Precious metals consisting of six platinum group metals, together with gold and silver have various applications in widespread fields, such as catalyst, jewelry, currency *etc.* However, since the shortage of resource problem has happened gradually, the precious metals has become the urgent demand.

Among hydrometallurgical technology, main useful techniques are solvent extraction and adsorption, which employ two different phase states with reactive interfaces. For extraction of precious metals, some organic extractants exhibit remarkable ability of recovery and selectivity.<sup>(1-3)</sup> However, extraction requires to use toxic extractants and flammable diluents which may bring environmental pollution. On the contrary, adsorption uses polymer particles,<sup>(4)</sup> resins<sup>(5)</sup> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles<sup>(6)</sup>, which are less toxic and safer. Compared with extractants and synthetic adsorbents, biomass-adsorbents satisfied the demand for economic and

environmental - friendly property on metal recovery. Base on the abundant of resources, there are kinds of adsorbents for precious metal adsorption, such as protein-rich biomass-adsorbents<sup>(7)</sup>, persimmon waste,<sup>(8)</sup> leaf biomass.<sup>(9)</sup>

Polysaccharides is a distinct class of biopolymers, universally produced in living organisms.<sup>(10)</sup> All of them have similar structure unit and different functional groups which attribute to the different properties, as shown in Scheme 1. They independently contain amount of hydroxyl, amido and amino groups, and diverse materials can contribute to adsorption with different mechanism, as ion-exchange and chelation<sup>(11)</sup> for precious metal adsorption.

In the present work, the ability of precious metal adsorption on polysaccharides polymers was investigated. Two types of chitins (Ex, s) were investigated for platinum (IV) and palladium (II), together with polysaccharides polymers. Some papers reported the possibility of metal adsorption on chitosan,<sup>(12)</sup> however chitosan itself has aqueous solubility in acidic media which would affect the adsorption.<sup>(13)</sup> For pH and time dependencies, platinum (IV)

---

Received May 31, 2018

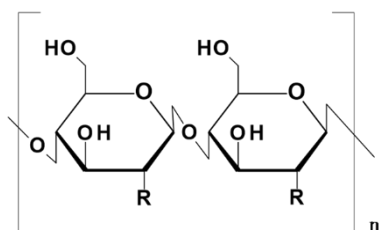
Department of Chemistry and Applied Chemistry  
©Faculty of Science and Engineering, Saga  
University

and palladium (II) adsorption were continuously studied.

## 2. Experimental

### 2-1 Reagents

Gold (III), platinum (IV) and palladium (II) chloride solutions were prepared by the hydrogen tetrachloroaurate (III) tetrahydrate ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), hydrogen hexachloro platinate (IV) hexahydrate ( $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) and palladium (II) chloride ( $\text{PdCl}_2$ ) powder respectively, purchased from Wako Pure Chemical Industries, Ltd, Japan. Cellulose was purchased from Merck KGaA, Germany. Chitin-S produced from shrimp shells was purchased from SIGMA, USA. Chitin-Ex was from Funakoshi Co., Ltd, Japan. Chitosan was from YAEGAKI Bio-industry Co. Ltd. These polysaccharides were used as they were without further purification. The crystallinity degree and deacetylation degree of both chitin materials may be different. However, such information was not mentioned for both commercially available materials.



R:  $\text{NH}_2$  (chitosan)  $\text{OH}$  (cellulose)  $\text{NHCOCCH}_3$  (chitin)

Scheme 1. Structures of polysaccharide polymers employed in the present work

### 2-2 Preparation of the test solutions

Aqueous solutions were prepared by dissolving each metal salt in 0.1 M ( $\text{mol dm}^{-3}$ ) HCl, and 0.1 M HEPES (2-(4-(2-hydroxyethyl) piperazin-1-yl) ethanesulfonic acid) buffer solution contained 0.10M NaCl to maintain the same chloride concentration for each sample. All the solutions contained 0.10 mM metal chloride. For the adsorption isotherms tests,

solution was adjusted by the mixture of 0.10-10.0 mM metal chloride solutions in the 0.10 M HCl media.

### 2-3 Adsorption tests

Twenty mg of sample powder was added to 2.0  $\text{cm}^3$  metal solution. The mixture was shaken at 30.0 °C for 24 h. After filtration, the metal concentration in the filtrated aqueous phase was measured by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES, Shimadzu ICPS-8100).

## 3. Results and discussion

### 3-1 Precious metal adsorption on various polysaccharides

The adsorption of Au (III), Pt (IV) and Pd (II) was separately investigated using each polysaccharide at same HCl media (0.10 M) for 24 h, shown in Fig. 1. The percentage adsorption (%) was calculated by equation (1)

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

where  $C_i$  and  $C_e$  represent the initial and equilibrium concentrations of metal ions.

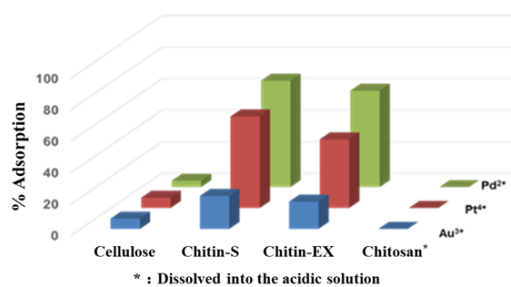


Fig. 1 % adsorption of Au(III), Pt(IV) and Pt(IV) on polysaccharides tested in 0.10 M HCl, at 30.0 °C

Compared with other polysaccharides, chitosan has no adsorption ability of precious metal ions, which is attributed to its high aqueous solubility in low acidic media. Both of chitins and cellulose are much less soluble in acidic solution. However, both types of chitins



exhibited relatively high adsorption ability to Pt (IV) and Pd (II). They were produced from the shells of crustacea such as prawn and crabs with highly crystalline nature. The formation of complexes between carbonyl groups of chitins and Pd (II) may attribute to the superior adsorption percentage. The hydrogen bond between chlorine from anionic chloro-complex of Pt (IV) and nitrogen-hydrogen of chitin may attribute to high adsorption.

### 3-2 Effect of shaking time on Pt (VI) and Pd (II) adsorption

The effect of shaking time on Pt (IV) and Pd (II) adsorption in 0.10 M HCl media, is shown in Fig. 2.

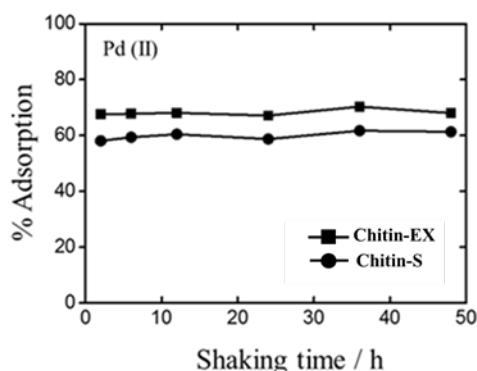


Fig. 2a Effect of shaking time on adsorption of Pd (II) in 0.10 M HCl media, at 30.0 °C

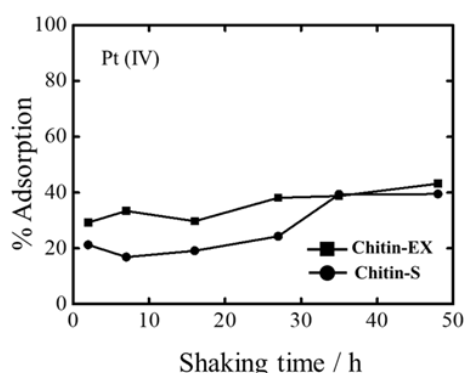


Fig. 2b Effect of shaking time on adsorption of Pt (IV) in 0.10 M HCl at 30.0 °C.

The equilibrium for Pd (II) adsorption was attained within 2 h, whereas, the adsorption of Pt (IV) reached equilibrium after around 36 h.

The main reason is the different hydration shells between Pd (II) and Pt (IV). The chitin-EX exhibited slightly higher adsorption for Pd (II) than chitin-S, which may be attributed to particle size (number of adsorption sites) and crystallinity.

### 3-3 Effect of pH on Pt (VI) and Pd (II) adsorption

The effect of pH on Pd (II) adsorption is shown in Fig. 3a. The value between initial pH equilibrium pH was similar. At the constant of chloride ion concentration, adsorption percentage increased with increase of pH. Different pH region attributed the variety of chloro-complexes species. Pd (II) mainly existed as the  $\text{PdCl}_4^{2-}$  anion at strong acidic condition. As the proton decreased, amount of Pd (II) was transferred into cation species gradually such as  $[\text{PdCl}(\text{H}_2\text{O}_3)]^+$ ,  $\text{Pd}(\text{OH})^+$  and  $\text{Pd}^{2+}$  (14). The carboxyl groups on chitin site would form complexes with  $\text{Pd}^{2+}$ .

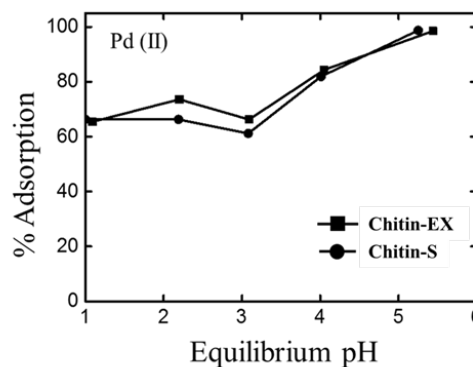


Fig. 3a Effect of pH on Pd adsorption at 30.0 °C, 24 h

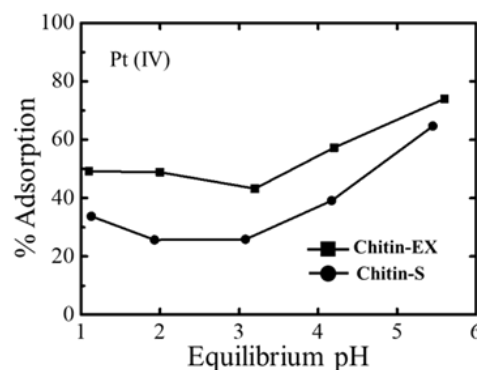


Fig. 3b Effect of pH on adsorption of Pt (IV) at 30.0 °C, 24h

The effect of pH on Pt (IV) adsorption is shown in Fig. 3b. Pt (IV) adsorption percentage is lower than that of Pd (II) adsorption. Most of the Pt (IV) exist as anionic chloro-complex ( $\text{PtCl}_6^{2-}$ ) in 0.10 M HCl solution. <sup>(15)</sup>

The reactional atom may be different. Chlorine atom from complex choroanions of Pt (IV) formed hydrogen bond with amido proton from chitin which led to Pt (IV) adsorption. Therefore, pH seemed to show weak effect on adsorption percentage.

### 3-4 Adsorption isotherm of Pt (IV) and Pd (II)

The adsorption isotherm of Pd (II) and Pt (IV) on Chitin-EX and Chitin-S is shown in Fig. 4, respectively. The figures were analyzed by the Langmuir isotherm, which equations are represented in the equations (2) and (3):

$$q_e = \frac{V(C_i - C_e)}{m} \quad (2),$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q^0 b} + \frac{1}{q^0} \quad (3),$$

where  $q_e$  is the amount of metal ion adsorbed ( $\text{mol kg}^{-1}$ ),  $C_e$  is concentration of equilibrium ( $\text{mol dm}^{-3}$ ),  $V$  is the volume of Pt (IV) and Pd (II) solution ( $\text{dm}^{-3}$ ) and  $m$  is the weight of the adsorbents (kg).

$q^0$  is maximum adsorption capacity on each chitin ( $\text{mol kg}^{-1}$ ) and  $b$  ( $\text{dm}^{-3} \text{kg}^{-1}$ ) is the adsorption equilibrium constant that relates to the adsorption energy. The value of  $q^0$  and  $b$  was calculated from the slope and intercept of plot  $C_e/q_e$  vs.  $C_e$ , so the reciprocal of slope stands for  $q^0$ .

In 0.10 M HCl media, Chitin-EX has better adsorption percentage on Pt (IV) than Chitin-S (shown at Fig. 3b). Hence loading capacity of Pt (IV) was investigated using chitin-EX. After calculation, the  $q^0$  value which illustrated the maximum of loading Pt (IV) was estimated to be  $0.0865 \text{ mol kg}^{-1}$ .

Between two chitins, they have similar

adsorption percentage on Pd (II) at 0.10 M HCl media (shown in Fig. 3a). Hence only studied the loading capacity of Pt (IV) adsorption on chitin-S. The maximum of loading Pd (II) is  $0.058 \text{ mol kg}^{-1}$ .

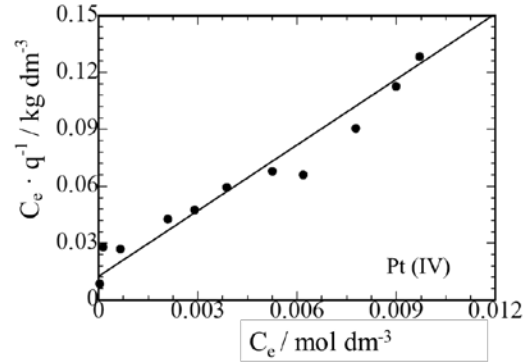


Fig.4a Adsorption isotherm of Pt (IV) on Chitin-EX, 0.10 M HCl media, 30.0 °C, 24 h

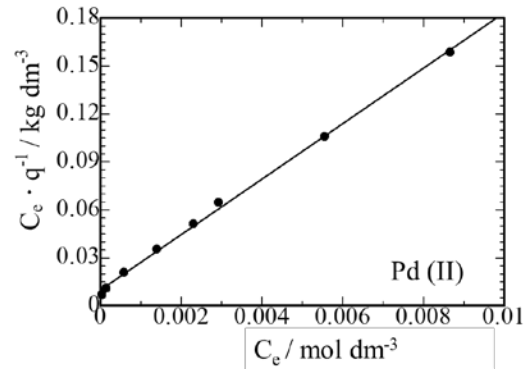


Fig.4b Adsorption isotherm of Pd (II) on Chitin-S, 0.10 M HCl media, 30.0 °C, 24 h

Although the loading capacity is remarkable, chitins as the raw and green material, still has potential for the industrial use.

## 4. Conclusions

At this study, polysaccharide polymers were investigated on precious metal adsorption ion. At 0.10 M HCl media, two chitins exhibited the superior ability of precious metal adsorption. The time of reaching equilibrium on Pd (II) is shorter than that of Pt (IV). Caused by the different hydration shell. Furthermore, the adsorption percentage increased as the increase of pH value on Pd (II) adsorption.

Otherwise, Pt (IV) adsorption wasn't changed clearly by the change of pH. Chitin as the cheaper, nontoxic and resourceful material has significance of precious recovery, although the capacity is not high.

#### References

- [1] H. Narita, T. Suzuki, M. Tanaka, Recent Research in Solvent Extraction of Platinum Group Metals, *J. Japan Inst. Met. Mater.*, 81(4), 157-167 (2017) in Jpn.
- [2] P. Malik, A. P. Paiva, "A Novel Solvent Extraction Route for the Mutual Separation of Platinum, Palladium, and Rhodium in Hydrochloric Acid Media", *Solvent Extr. Ion Exch.*, 28, 49-72 (2010).
- [3] M. Iwakuma, T. Oshima, Y. Baba, Chemical Structure-Binding/Extractability Relationship Using New Extractants Containing Sulfur and Nitrogen Atoms as Donor Atoms for Precious Metals, *Solvent Extr. Res. Dev., Jpn.*, 15, 21-35 (2008)
- [4] T. Ito, R. Nagaishi, T. Kimura, S. Y. Kim, "Study on Radiation Effects on (MOTDGA-TOA) / SiO<sub>2</sub>-P Adsorbent for Separation of Platinum Groups Metals from High-level Radioactive Waste", *Radioanal. Nucl. Chem.*, 305 (2), 419-427 (2015).
- [5] A. Warshawsky, M. M. B. Fieberg, P. Mihalik, T. G. Murphy, Yvonne B, "The Separation of Platinum Group Metal (PGM) in Chloride Media by Isothiouonium Resins", *Separation & Purification Reviews*, 9 (2), 209-265 (1980).
- [6] A. Uheida, M. Iglesias, C. Fontas, M. Hidalgo, V. Salvado, Y. Zhang, M. Muhammed, "Sorption of Palladium(II), Rhodium(III) and Platinum(IV) on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles", *J. Colloid and Interface Sci.*, 301 (2), 402-408 (2006).
- [7] T. Maruyama, Y. Terashima, S. Takedo, F. Okazaki, M. Goto, "The Separation Selective Adsorption and Recovery of Precious Metal Ions Chloride Using Protein-Rich Biomass as Efficient adsorbents", *Process Biochem.*, 49, 850-857 (2014).
- [8] Y. Xiong, C. R. Adhikari, H. Kawakita, K. Ohto, K. Inoue, H. Harada, "Selective Recovery of Precious Metals by Persimmon Waste Chemically with Modified with Dimethylamine", *Bioresour. Technol.*, 100 (18), 4083-4089 (2009).
- [9] P. Ramakul, Y. Yanachawakul, N. Leepipatpiboon, N. Sunsandee, "Biosorption of Palladium (II) and Platinum (IV) from Aqueous solution using tannin from Indian almond (*Terminalia Catappa* L.) Leaf Biomass: Kinetic and Equilibrium Studies", *Chem. Eng. J.*, 193-194 (15), 102-111(2012).
- [10] E. Vandamme, S. D. Baets, A. Steinbuchel, "Polysaccharides I: Polysaccharides", *Biopolymers*, Wiley -VCH, 5 (2002).
- [11] J. L. Cortina, E. Meinhardt, O. Roijals, V. Marti, "Modification and Preparation of Polymeric Adsorbents for Precious-metal Extraction in Hydrometallurgical Processes", *React. Funct. Polym.*, 36, 149-165 (1998).
- [12] W. S. W. Ngah, K. H. Liang, "Adsorption of Gold (III) Ions onto Chitosan and N-Carboxymethyl Chitosan: Equilibrium Studies", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 38, 1411-1414 (1999).
- [13] K. Inoue, Y. Baba, K. Yoshizuka, H. Noguchi, M. Yoshizaki, *Chem. Letters*, 1281-1284 (1988).
- [14] Z. Hubicki, A. Wolowicz, "Adsorption of Palladium (II) from chloride solutions on Amberlyst A29 and Amberlyst A 21 resin", *Hydrometallurgy*, 96, 159-165 (2009).
- [15] H. A. Droll, B.P. block, W. C. Fernlius, "Studies on Coordination Compounds. XV. Formation Constants for Chloride and Acetylacetonate Complexes of Palladium (II)", *J. Phys. Chem.*, 61, 1000-1004 (1957).



## 博士論文要旨及び審査要旨公表

佐賀大学大学院工学系研究科において、博士の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）独8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨をここに公表する。



氏名(本籍) 高岡 祐士 (佐賀県)  
学位の種類 博士(工学)  
学位記の番号 甲第 616 号  
学位授与の日附 平成 30 年 3 月 23 日  
学位論文題名 流体によるゲル粒子の変形を利用したコロイド粒子分離システムの構築に関する研究

#### 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 大渡 啓介  
(副査) " 准教授 川喜田 英孝  
" " " 森 貞 真太郎  
" " " 成 田 貴 行

### 論文内容の要旨

さまざまな製造プロセスにおいて、様々な形状やサイズの粒子が生産されている。形状やサイズをもつ粒子群からあるサイズや形状の粒子を分離することは重要である。本研究では、濾液中の圧力に伴うゲル微粒子の変形を利用した対象粒子のサイズ排除分離に着眼した。充填剤であるゲル粒子が変形した場合、分離場であるゲル粒子間隙が変化するためそれに伴いサイズ排除効果も変化する。その結果、ゲル粒子間隙の狭小化により、ゲル粒子が変形しない条件下ではカラムを透過した物質あるいは粒子がカラム内に捕捉される、あるいは捕捉対象物質である粒子の流出速度が変化すると推察される。したがって、カラムの充填剤としたゲル粒子の変形の制御は、カラムの分離性能であるサイズ排除効果の制御となりサイズ排除クロマトグラフィーの新たな操作条件となる。

さらに、充填剤として用いるゲル粒子の変形のしやすさ、粒径、導入する官能基によって、ゲル粒子の変形、すなわちサイズ排除効果のより劇的な変化やサイズ排除のみではなく、充填剤およびカラムを透過する物質あるいは粒子との間の相互作用も分離の要因となり、多様な物質あるいは粒子の分離への適用が期待される。

上記のように、ゲル粒子の変形を利用してサイズ排除効果の強弱の制御をこのような最終的な展開を目的として、本論文では、コロイド粒子を対象としたカラムを透過する流体によるゲル粒子の変形を利用した分離システムの構築について検討する。

本論文は全 7 で構成されている。

第 1 章では、本論文の目的が述べられ、本論文の意義および位置を明確にするために、既往の粒子分離の手法、ゲル粒子の変形、および粒子分離の必要とされている分野が記述された。

第 2 章では、第 3 章以降で使用するゲル粒子との比較として、「かたい」粒子充填構造によるコロイ

ド粒子分離挙動の観察のために、polystyrene 製 Latex ビーズの充填構造が多孔性中空糸膜上に形成され、様々なコロイド粒子懸濁液の透過が行われた。Latex ビーズの充填量によってコロイド粒子阻止性能の制御が可能であることが示された。

第 3 章では、カラムを透過する流体由来の圧力による充填剤であるゲル粒子の変形、およびそれに伴うゲル粒子間隙の狭小化について検討するために、調製したゲル粒子を充填したカラムに蒸留水を透過してカラム中に形成させたゲル粒子充填構造の圧密が調べられた。流体の透過によってゲル粒子充填高さが減少し、さらに圧力損失が上昇した。圧力損失の上昇挙動は変形しない粒子の場合の直線的な増加ではなく、時間経過に伴って傾きが増加した。これらの結果はゲル粒子の架橋密度によって異なることが報告された。

第 4 章では、カラムの充填剤であるゲル粒子の変形によるコロイド粒子分離性能について評価するために、ゲル粒子を充填したカラムにシリカ粒子懸濁液が透過され、ゲル粒子充填構造によってシリカ粒子が捕捉された。シリカ粒子のサイズによってゲル粒子充填構造中で捕捉される場所が異なり、サイズ分離が可能であることと示唆された。

第 5 章では、サイズ分布を有する粒子の分離について検討するために、カラムに充填したゲル粒子の変形を利用したサイズ分布を有する Graphene oxide (GO) のサイズごとの分離が検討された。ゲル粒子間隙を透過した小さなサイズの GO とゲル粒子間隙に捕捉された大きなサイズの GO の分離が達成された。さらに、ゲル粒子間隙に捕捉された GO についても、サイズによって捕捉場所が異なることが明らかとされた。

第 6 章では、カラム内のゲル粒子充填構造に捕捉された粒子の回収方法について検討するために、カラム中のゲル粒子充填構造に捕捉されたろ物である GO の回収法が提案された。GO をろ過した直後のゲル粒子にかかる圧力を流路外へ開放すると、ゲル粒子の弾性による変形からの復元力および流路外への液流の発生によってろ物である GO がカラム内を浮上した。浮上した GO はカラムの高さ方向に対するクロスフローによって回収された。流出液とゲル粒子間隙に捕捉された GO のサイズ分離および回収だけでなく、ろ材であるゲル粒子の再生にも繋がる結果が得られている。

第 7 章では、本論文で得られた知見が総括され、今後の展望について述べられている。

平成 30 年 2 月 2 日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文 3 編で報告されており、著者は研究者として十分な能力を有してい

ると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

### 論文審査結果の要旨

学位申請者、高岡 祐士氏に対して、博士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述試験を行うことを事前に通知し、平成30年2月2日の公聴会終了後に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。使用したゲルと分離対象物質との相互作用、工業的にスケールアップするための方法、ゲル間隙で形成される孔の分布の算出について問うたところ、申請者自身の研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から化学工学の見地に基づいたスケールアップや吸着や濾過に関する分離工学に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。



氏名(本籍) 高倉将一 (福岡県)  
 学位の種類 博士(理学)  
 学位記の番号 甲第617号  
 学位授与の日附 平成30年3月23日  
 学位論文題名 角度分解光電子分光による非整合積層コバルト酸化物の電子状態研究

## 論文審査委員

(主査)	佐賀大学	准教授	真木	一
(副査)	〃	教授	杉山	晃
〃	〃	〃	鄭旭	光
〃	〃	准教授	東純	平
〃	〃	教授	米山	博志

## 論文内容の要旨

結晶は通常、原子や分子が周期的に配列したものである。一方で、自然界には超格子構造や準結晶など、系全体にわたる周期が定義できない物質が存在する。なかでも層状構造をもち、各層の格子定数が互いに無理数比の物質は非整合層状物質と呼ばれ、基礎、応用の両面から注目されている。特に、近年、層状物質を単層化すると、層間結合の消失により、バルク固体とは異なる性質が現れる例が幾つも報告され、層境界での原子軌道の結合と安定性に対する知見の要求が高まっている。また、電子間相互作用が中心的役割をもつ物質—強相関電子系—の理解と、その特性を積極的に活用した物質設計も現在の物質科学研究の柱である。こうした系では、電荷、スピン、軌道が相関し、多彩な機能が創出する。従来型半導体を凌ぐ革新的な技術展開も期待されている。本論文で扱う非整合積層コバルト酸化物には、この強相関電子系の視点からの研究も多い。本論文では、層間非整合が電子状態に及ぼす影響を追究し、層間結合の成因を解明することを目的としている。

本論文は全5章で構成されている。

第1章は序論である。非整合格子構造をもつ物質の紹介と、非整合積層物質およびその関連物質でのインターカレートや単層化による物性変化が記された後、層状コバルト酸化物の結晶構造、電氣的・磁氣的な性質、熱電材料や強相関電子系の観点からの研究例が説明される。続いて、非整合構造に着目する契機となった電流電圧特性の実験をふまえ、本研究の目的が述べられている。

第2章では、実験手法として、単結晶作製の手法および角度分解光電子分光 (ARPES) の測定原理、測定に関する具体的な施策が記されている。

研究成果は第3章と第4章にまたがる。第3章は、非整合な $[\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{O}_4]_{0.51}\text{CoO}_2$ でフェルミ面を観測したこと、フェルミ面の大きさが温度依存することを

説明する。酸素の内殻スペクトルにも温度変化が見られるため、酸素原子の変位が電子状態に作用すると推論される。第4章は、整合な $[\text{Bi}_2\text{Ba}_2\text{O}_4]_{0.50}\text{CoO}_2$ と非整合な $[\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{O}_4]_{0.59}\text{CoO}_2$ も交え、酸素 2p 軌道由来の価電子バンドが、系の電子状態を直接反映することを示す。さらに、光子エネルギーを変えて行った ARPES 実験および透過型電子顕微鏡観察から、 $[\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{O}_4]_{0.51}\text{CoO}_2$ は局所格子歪みによる分域構造を形成して、非整合層間での電荷輸送を可能にしていることが明らかにされた。

第5章では以上の研究結果をまとめ、非整合積層コバルト酸化物は結晶構造と電子が協奏して物性を創出していること、層状物質の理解と制御に知見が有益であることを述べている。

以上、本論文は ARPES 実験により、非整合構造がコバルト酸化物の電子状態に及ぼす影響を明らかにした。コバルト 3d 電子の強相関効果を主とした説明に再考を促すと共に、層状物質やヘテロ成長による積層膜などの研究にも有用な知見が示されている。

平成30年2月5日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文3編、学会発表6件等で報告されており、本研究は博士の学位に値すると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士(理学)の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

## 論文審査結果の要旨

学位申請者、高倉将一氏に対して、博士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述試験を行うことを事前に通知し、平成30年2月5日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。層間方向の電荷移動について、特に、格子歪みとコヒーレント伝導との関係や研究手法について問うたところ、申請者自身の研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から物性物理学に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

氏名(本籍) 町島 希美絵 (福岡県)  
 学位の種類 博士(学術)  
 学位記の番号 甲第 618 号  
 学位授与の日附 平成 30 年 3 月 23 日  
 学位論文題名 高齢者のためのメンタルとアクティビティのケア支援に関する研究

#### 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 准教授 中山 功 一  
 (副査) // 教授 山下 義 行  
 // // // 松 前 進  
 // // // 岡 崎 泰 久

### 論文内容の要旨

本論文では、認知症高齢者に対して、メンタルの充実による“QOL(生活の質)の向上”と“BPSD(行動・心理症状)の緩和”を目的とする。この実現には、高齢者に対するアクティビティ(日常生活行動、人間関係、趣味・娯楽活動、その他の全般の活動)のスタッフ(介護スタッフなど)に、メンタルとアクティビティのケアに必要なスキルの習得が不可欠である。本論文では、スタッフに対してメンタルとアクティビティのケアに必要なスキルを向上させる情報システムの構築に向けた研究に取り組む。

第1章では、課題と目的と章構成の概要を説明した。

第2章では、一般高齢者のメンタルとアクティビティのケアに必要なスキルを習得し、地域コミュニティで実践しているスタッフのスキルを分析した。その結果、メンタルとアクティビティのケアに必要なスキルには、(A)参加者の主観的情報にとどまらず、認知機能などの客観的情報を取得して総合的に把握するアセスメント・スキルと(B)高齢者の参加

／活動の意欲を刺激するように関わるコミュニケーション・スキルが重要であることが明らかとなった。

第3章では、教育背景や熟達度の異なるスタッフに対して、一般高齢者へのアセスメント・スキルを習得するために開発した教育支援アプリケーション(以下「教育支援アプリ」と略す)を開発した。また、このアプリの有効性について、一般高齢者と若者群とのデータを比較検証した。その結果、年齢差を反映させた作業遂行評価は可能であることが明らかとなった。

第4章では、教育背景、熟達度の異なるスタッフに対して、一般高齢者へのコミュニケーション・スキルを習得させるために開発した教育支援アプリの有効性を検証した。スキル向上をはかるためには、既存のアプリにあるような、単に音声を再生する機会を設ける機能だけでは不足であることを示した。また、自己評価と他者評価を組み合わせ、学習者が自己の成長／変化を感じ取り、主体的に学習するシステムの構築が必要であることを示した。

第5章では、認知症高齢者のアクティビティを個人化できるアプローチ・システムについて述べた。アクティビティの個人化プロセスでは、認知症者の身体的な情報と作業能力を把握するアセスメント・スキルが重要であった。また、把握した作業能力に基づき、「満足感」や「達成感」を得られる個別の作業プログラムを組むために、認知症高齢者のアクティビティを支援するスタッフ同士のコミュニケーション・スキルの活用と、それをチーム・ケアに反映させる取り組みが必要であることがわかった。

第6章では、高いコミュニケーション・スキルとアセスメント・スキルを有するスタッフで構成されるデイケア施設で実践されている作業プログラムを、個人ケアからチーム・ケアに発展させて、継続的に運用するために必要な共有化システムに取り組

んだ。そこで、“振り返りミーティング”を活用した、作業プログラムを実行するための3つの過程「準備」「実施」「振り返り」に基づき、スタッフ間の会話を分析した。その結果、どのスタッフも自分の気づきを報告し、活発な議論を行うことで、高いチーム・ケアを実現していることが明らかとなった。

第7章では、一般高齢者や認知症高齢者へのQOLの向上やBPSDの緩和を実現するために必要なアクティビティ・ケアにおける将来的な展望を述べた。一般高齢者には、個別支援が必要な高齢者の割り出しと、個別支援の必要性が低い高齢者に対しては、興味・関心を引くような活動を提案する。認知症高齢者には、BPSDを増強させない、こころを落ち着かせ活動に集中できるメンタルとアクティビティのケアに必要なスキルを備えた支援ロボットなどを推奨し、認知症高齢者および介護スタッフへの支援が同時に行えるようなシステムを提案する。

本論文の結論を述べる。メンタルとアクティビティのケアに必要なスキルの基盤となるコミュニケーション支援アプリや作業評価支援アプリを活用して、支援にあたるスタッフの教育を行う。また、認知症高齢者に「満足感」「達成感」をもたらすためには“作業の個人化プロセス”を経る必要がある、さらに、個別ケアから、チーム・ケアに発展させるためには、“振り返りミーティング”を活用して、作業プログラムを実行するための3つの過程「準備」

「実施」「振り返り」を効果的に継続させる。このような、メンタルやアクティビティのケアを実践することで、一般高齢者や認知症高齢者へのQOLの向上やBPSDの緩和を実現できると考える。今後、アセスメント・スキルおよびコミュニケーション・スキルの教育／実践支援方法の有効性について、検証を重ねる。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、認知症高齢者に対して、メンタルの充実による“QOL（生活の質）の向上”と“BPSD（行動・心理症状）の緩和”を目的としている。この実現のために、高齢者のメンタルとアクティビティのケアに必要なアセスメント・スキルやコミュニケーション・スキルを習得するための教育支援アプリケーションを開発して、評価実験により有用性を明らかにした。また、個々のスタッフのスキルに基づき、ケアの中で獲得する知識、情報、スキルなどをスタッフ間で共有し、活発な振り返りミーティングを実施していくことで、個人化したアクティビティを提供できるようになることがわかった。個人化したアクティビティにより、一般高齢者や認知症高齢者へのQOLの向上やBPSDの緩和を実現できるという有用な知見が示された。

平成30年1月29日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文12編、審査付国際会議論文2編、学会発表19件等で報告されており、本研究は博士の学位に値すると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士（学術）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) Md. Hasan Ali (バングラデシュ)  
 学位の種類 博士(工学)  
 学位記の番号 甲第 619 号  
 学位授与の日附 平成 30 年 3 月 23 日  
 学位論文題名 Experimental and Numerical  
 Analysis of Performance of Ground  
 Heat Exchangers for Ground Source  
 Heat Pump

## 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 宮 良 明 男  
 (副査) " " 光 武 雄 一  
 " " " 松 尾 繁  
 " " 准教授 仮 屋 圭 史

## 論文内容の要旨

Ground source heat pump (GSHP) systems are widely used in residential and commercial building for space heating and cooling as an alternative of conventional air source heat pump (ASHP) systems. GSHP systems provide a higher efficiency than conventional ASHP systems and environmentally friendliness. In GSHP systems, thermal energy transfer between the ground soil and circulating fluid occurs in an underground loop called a ground heat exchanger (GHE), which is laid in horizontal shallow trench or buried in vertical borehole. Though the GSHP systems are energy efficient than ASHP systems; however, initial installation costs are higher due to the additional cost associated with the GHE. The installation cost of GHE can be reduced by intelligently designing of GHE with proper selecting materials and size. Therefore, aiming to understand the physical phenomena occurs between the GHE and ground soil around GHE, studies are necessary.

In present study, the performance analyses of slinky horizontal GHEs have been studied via both experimental measurements and numerical simulation. In addition, optimization of vertical double tube GHE has been carried out by numerical simulation. In experiment, two slinky horizontal GHEs such as reclined (loops are placed parallel to ground surface) and standing (loops are placed perpendicular to ground surface) were installed in Saga University, Japan. All numerical simulations were carried out by using a commercial computational fluid dynamics (CFD) software package ANSYS FLUENT.

The thermal performances of reclined and standing slinky horizontal GHEs were experimentally investigated in different heating modes of continuous and intermittent operations. A copper tube of which outer surface is protected with a thin coating of low density polyethylene (LDPE) was selected as tube material of GHE. The thermal behavior of undisturbed ground and ambient temperature were also measured. To suggest the customary sizing of slinky GHEs for different ground soil temperatures and operating conditions, the overall

heat transfer coefficient UA-values were also evaluated. Within the 4-days average heat exchange rate, the standing GHE shows 16.0% higher heat exchange rate than the reclined GHE at a flow rate of 1 L/min. For the mass flow rate 2 L/min, the average heat exchange rate of the standing GHE is 19.1% higher than the reclined GHE. With respect to excavation work, standing slinky GHE is more cost effective than reclined slinky GHE. The trench ground temperature degradation due to heat extraction was stronger in leading loops than trailing loops. This happened because of higher heat load in the leading loops. Hence, the slinky horizontal GHEs can be installed with a gradually sinking loop pitch from the starting loop to the end loop. This will potentially reduce the installation land area or may improve the thermal performance. Furthermore, the effects of different ground temperatures on GHE performance were discussed. For mass flow rate of 1 L/min with inlet water temperature 7 °C, the 4-days average heat extraction rates increased 45.3% and 127.3%, respectively, when the initial average ground temperatures at 1.5 m depth around reclined horizontal GHE increased from 10.4 °C to 11.7 °C and 10.4 °C to 13.7 °C. In the case of intermittent operation, which boosted the thermal performance, a short time interval of intermittent operation is better than a long time interval of intermittent operation. Furthermore, from the viewpoint of power consumption by the circulating pump, the intermittent operation is more efficient than continuous operation.

Aiming to improve the thermal performance of slinky horizontal GHEs, the uniform distribution of loops were modified by a geometric sequence such that gradually decreasing the loop pitch interval from starting loop to end loop. The performances were investigated numerically in cooling mode. The slinky horizontal GHE loops were distributed by a geometric sequence such that after obtaining the first loop pitch, the preceding next loop pitch is obtained by multiplying the first loop pitch by a constant called the common ratio (pitch reduction factor). A comprehensive experimental investigation was carried out to validate the present numerical model. In numerical study with modified arrangements of loop pitch, slinky loop diameter, number of loop and trench length was fixed as 1 m, 7 and 7 m respectively. The comparative temperature distribution around GHE also being discussed to illustrate the heat exchange improvement mechanisms. The operating water flow rate was 4 L/min and entering water temperature was 27 °C. The computational results indicate that, the modified arrangement of slinky GHE loop is a promising for the performance improvement. Under the present operating conditions and geometric parameters considered, the modified arrangement of slinky GHE loops offers maximum 22.2% higher heat exchange compared to uniform distribution of loops of slinky GHE within 7 day continuous operation. In this study the slinky GHE consists only 7 loops, which is may be suited for load

demand of small building. For large building or commercial purpose, the slinky GHE is consisted usually large number of loops. In that situation, the total number of loop can be distributed by sequentially decreasing the loop pitch, or by subdividing the loops in step by step group of loop pitch reduction factor. These types of modified loop arrangement of slinky horizontal GHE minimize the drawback of shallow GHE's unstable thermal performance due to ambient effect.

From previous study, it is seen that, the double tube (coaxial) vertical GHE has higher thermal performance than U-tube and multi-tube GHEs. Therefore, the double tube vertical GHE has adopted to optimize the outer (inlet) tube diameter and inner (outlet) tube diameter in cooling mode. The purpose of this optimization is to reduce the outer and inner tube diameter. A series of two-dimensional axisymmetric numerical simulations were carried out to test the performances considering heat exchange rate and pressure drop. Effect of the different materials on heat transfer and longtime operation were also discussed. The results indicate that, heat transfer rate can be enhanced by reducing the outlet tube diameter for a fixed inlet tube diameter. The double tube vertical GHEs are more effective in laminar flow condition considering balance between heat transfer and pressure drop. The pressure drop is not significantly high in laminar flow condition; it is possible to reduce the inlet and outlet diameter of double tube GHEs if double tube GHEs operates in laminar flow condition. The heat transfer rate decreased only 17% but diameter of the outer tube can be reduced from 130 mm to 40 mm with fixed inner tube diameter of 20 mm. High density polyethylene is usually used in installation of GHE, the present study suggests that in double tube GHE, inlet (outer) tube with high density polyethylene and outlet (inner) tube with polyvinyl chloride is more effective than HDPE tubes use both in inlet and outlet. From the temperature distribution of long time operation, multiple double tube GHE can be installed at 2.0 m apart.

## 論文審査結果の要旨

本論文では、地中熱利用空調機などに使用される地中熱交換器の特性および性能改善について検討されている。地中の温度は一年を通して安定しており、夏季は外気温度より低く、冬季は外気温度より高くなる。従って、この地中を熱源としてヒートポンプや空調機を運転すれば、外気を熱源とするより高い効率を得ることができる。しかし、そのためには地中で熱交換を行う地中熱交換器の性能が重要である。一方、地中熱交換器の設置には高い費用が必要となることがその普及を妨げている。本研究では、設置コストの削減を目的に、1～2 m程度の浅部の地中を利用する水平スlinky型地中熱交換器の研究を行った。また、垂直型の地中熱交換器では一般的に

100 m程度の深さまで地中熱交換器が設置されるが、20 m程度までの深さを利用するとともに、設置するためのボアホール径を小さくできる熱交換器の研究を行った。

第1章では、研究の背景であるエネルギー消費や再生可能エネルギー利用の必要性、そして地中熱利用ヒートポンプの有効性について説明されている。また、本論文の全体構成についての説明も記載されている。

第2章では、地中熱利用技術についての研究調査を行った結果が説明されており、種々のタイプの地中熱交換器の分類、その特徴などについて、幅広く、かつ詳細な説明が系統的になされている。なお、研究調査は地中熱交換器だけでなく、太陽熱やクーリングタワーを補助的に利用するシステムなど、応用研究についても行われている。

第3章では、佐賀大学構内に設置した、縦置き水平スlinky型および横置き水平スlinky型の地中熱交換器の実験装置、実験方法および実験データの解析方法が説明され、測定した地中温度の季節間の変化や、種々の条件での熱交換量の特長、縦置きと横置きの性能比較などが説明されている。また、間欠運転することによって熱交換器周りの温度場が回復することで運転中の熱交換性能を高く維持できることなどが報告されている。

第4章では、横置き水平スlinky型地中熱交換器の最適化に関する数値計算を用いた検討が行われている。スlinky型地中熱交換器では、ループが均等間隔で配置されることが一般的であるが、同じ伝熱管長さの場合、ループの設置ピッチを可変にして、ループが密な領域と疎な領域に分けることで性能が最適値を持つようになり、均等の場合より10～20%程度高くなるなどの解析結果を得ている。なお、この結果は数値計算によるものであり、最適値を持つことに対する実験的な検証は行われていないが、均等配置条件での実験結果と計算結果との比較により、数値計算結果の信頼性が示されている。

第5章では、二重管式の地中熱交換器において、外管の小径化が検討され、熱交換性能に及ぼす内管径の影響など、数値計算を用いた研究成果が報告されている。この解析は、地中熱交換器を設置する際のボーリングにおける掘削直径を小さくすることを目的としたものであり、地中熱交換器の設置コスト削減に貢献できる結果が報告されている。

第6章では、本論文で示された研究結果の総括が行われるとともに、今後の研究課題、方向性に関する提言を行っている。

本研究で得られた成果は、独創的な新しい結果を含んでおり、工業的に広く応用できるものである。

平成30年2月5日に実施した博士論文公聴会では、これらの内容が分かりやすく丁寧に説明され、

質問に対しても適切な回答がなされた。

なお、本研究の内容は3件の査読付き Journal 論文に掲載されるとともに、3件の国際会議で発表されている。

以上のことより、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員の一致で合格と判定された。

氏名(本籍) 大竹 亜紗美 (福岡県)  
学位の種類 博士(工学)  
学位記の番号 甲第620号  
学位授与の日附 平成30年3月23日  
学位論文題名 機能性酸化グラフェンの合成と分散性の定量的評価に関する研究

#### 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 鯉川 雅之  
(副査) " 准教授 坂口 幸一  
" " 教授 滝澤 登孝  
" " 准教授 川喜田 英孝

### 論文内容の要旨

現在、パソコンやスマートフォンなどの電子機器が広く普及しており、我々の生活において欠かせない物となっている。しかしながら、電子機器に利用されているシリコン半導体の微細加工による性能向上に量子的限界がきている。そこで、シリコンに代わる新たな材料としてグラフェンが注目されている。グラフェンを得る方法として、剥離法やCVD法、熱分解法などがあるが、大量に低コストで得ることができる化学的酸化法がよく利用されている。化学的酸化法はグラファイトを酸化させ、酸化グラフェン(GO)を得た後、還元することでグラフェンを得る方法であるが、完全な還元が困難であるという課題がある。そこで、GOの還元が困難となっている原因の1つである酸素官能基に注目し、GOを機能化する研究が進んでいる。これまでにGOの機能化として、有機溶媒への親和性を向上させる研究が多く報告されているが、他の機能を付加させた報告は少ない。また、GOの特徴である水への分散性や、官能基付加による有機溶媒へ分散性の評価が目視であり、主観的な評価しか行われていない。従って、合成法の違いによる分散性の比較が困難であり、分散度合などの指標が不明瞭であるという課題がある。そこで本研究では、GOに注目し、酸素官能基を反応活性点としてGOに新たな機能を付加させるこ

とを目的とする「機能性GOの合成」とGO及び機能性GOの分散性を客観的に評価することを目的とする「分散性の定量的評価」の研究を行った。

本論文は全4章で構成されている。

第1章では、電子機器の普及に関する社会的な背景を踏まえて、シリコン半導体の限界とシリコンに代わる材料として期待されるグラフェンの物性、GOの機能化と分散性評価の現状、研究目的について述べた。

第2章では、「機能性GOの合成」について述べた。機能性GOの合成は、新たな機能として撥水性に注目したフッ素化アルキルの付加と、R-トリメトキシシランを使用した簡便なアルキル鎖付加の2種類について行った。フッ素化アルキルの付加において、接触角測定及びI-V特性評価より、GOよりも高撥水性かつ微弱ながら伝導性を有する材料を合成し、撥水性導電GO薄膜を作成することができることを明らかにした。これにより、撥水性の低下の原因となる帯電状態を解消することが期待されるとともに、フッ素化アルキルとGOの間の大きな双極子モーメントによる電気二重層としての応用が期待される。

一方で、簡便なアルキル鎖付加において、R-トリメトキシシランの反応性が低いことから、合成溶媒の検討を行い、促進させる反応段階とシランカップリング剤の鎖長に合わせた溶媒の鎖長を考慮した溶媒検討が必要であるものの、大気下で合成可能な簡便なアルキル鎖付加方法を提示した。これにより、GOに付加可能な官能基の幅を広げることができ、機能性GOのデバイス応用への幅も広がることが期待される。

第3章では、「分散性の定量的評価」について述べた。定量的な評価のために、濁度計の原理を基に光透過性を利用した分散性評価装置を作製した。始

めに光源として高輝度 LED を用いて装置を作製し、GO の水分散性と機能性 GO の THF 分散性を評価した。結果として、時間対濃度の分散曲線を得ることができ、定量的な評価が可能となった。また、GO の水分散性の分散曲線を stretched exponential 関数で Fitting したところ、この関数に含まれる  $\tau$  の値から、分散時間の指標を提示することが可能となった。

一方で、LED 光源では試料全体の経時変化を捉えることができて、局所的な変化がわからないといった課題があった。そこで、局所的な評価が期待されるレーザーに光源を改良・作製し GO の分散曲線について分析を行った。また、GO の分散曲線の分析にあたり、GO のサイズにのみ注目し、遠心分離によるサイズ分離とサイズ毎の分散性評価、サイズ毎の重量割合から再ブレンドしたブレンド GO (GOB) の分散性を評価した。結果として、LED 光源による分散曲線とは異なり、濃度が段階的に低下する分散曲線が得られた。また、サイズ毎および GOB の分散曲線から、同サイズおよび異なるサイズのそれぞれの相互作用が沈殿に影響していることが確認された。これにより、分散性の定量的な評価が可能となり、分散性の客観的な議論への一石を投じることができた。

第4章では、論文全体の総括を述べている。

以上、本論文では「機能性 GO の合成」と「分散性の定量的な評価」を目的として、新しい機能を持つ GO の合成と、簡便なアルキル鎖付加方法の開発を行い、また、自作した分散性評価装置によって GO の分散性を定量的に評価するための一石を投じることができた。

### 論文審査結果の要旨

学位申請者、大竹 亜紗美氏に対して、博士論文審査終了後に最終審査を実施すること、および試験

の内容は博士論文に関する内容について口述試験を行うことを事前に通知し、平成30年2月8日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。付加した官能基と発現する機能性との関係について、種々の分析法の適用性と結果の関連について、分散性の評価結果から考えられる分子の分散液中での挙動について問うたところ申請者自身の研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から機能性分子化学に関して十分な知見と理論構成力を有していると判断された。以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。以上の理由により、提出された論文は、博士(工学)の学位を受容するにふさわしいものであると、審査員全員の一致によって判断した。



氏名(本籍) 小宮 佑典(福岡県)  
 学位の種類 博士(理学)  
 学位記の番号 甲第 621 号  
 学位授与の日附 平成 30 年 3 月 23 日  
 学位論文題名 Existence of infinitely many solutions for quasilinear elliptic equations (準線形楕円型方程式に対する無限に多くの解の存在)

## 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 梶木屋 龍 治  
 (副査) " " 前田 定 廣  
 " " " 半田 賢 司  
 " " 准教授 日比野 雄 嗣

## 論文内容の要旨

本論文では、次の $(p, q)$ ラプラス方程式  $-\Delta_p u - \Delta_q u = f(x, u)$  ( $x \in \Omega$ ),  $u = 0$  ( $x \in \partial \Omega$ ) の解の存在について研究している。ここで、 $\Delta_p$  は  $p$  ラプラス作用素、 $\Omega$  は  $N$  次元ユークリッド空間内の有界領域であり、 $\partial \Omega$  は、 $\Omega$  の境界を表す。 $p = q$  と取ることにより、上の方程式は、 $p$  ラプラス方程式とみなすことができる。したがって、以下の結果は、 $p$  ラプラス方程式に対しても有効である。

また $(p, q)$ ラプラス方程式は $p$ ラプラス方程式及び通常のラプラス方程式の拡張であり、これらの方程式については様々な先行研究がなされている。

そこで本研究の目的は、 $(p, q)$ ラプラス方程式に対して  $C^1$  ノルムがゼロへと収束するような解の列、無限大へと発散するような解の列の存在、非存在のための十分条件を与える事である。また、 $(p, q)$ ラプラス方程式の全ての非自明な解に対するアприオリ評価を与えることである。

本学位論文の主結果は以下の通りである。

## 主結果 1

関数  $f(x, u)$  について、この関数の原始関数を

$F(x, u)$  とおく。 $f(x, u)$  が  $u$  について奇関数であり、 $|u| \rightarrow \infty$  のときソボレフの臨界指数より小さい増大度を持ち、 $x$  についての  $\inf F(x, u)/|u|^p$  が  $|u| \rightarrow \infty$  のとき無限大に発散するような部分領域が存在するなどの仮定を与える。このとき、 $C^1$  ノルムが無限大へと発散するような $(p, q)$ ラプラス方程式の解の列が存在する。

## 主結果 2

$f(x, u)$  は連続関数であり、 $u$  について奇関数とする。 $x$  についての  $\inf F(x, u)/|u|^q$  が  $u \rightarrow 0$  のとき無限大に発散するような部分領域が存在することを仮定する。このとき、 $C^1$  ノルムが  $0$  へと収束するような $(p, q)$ ラプラス方程式の非自明な解の列が存在する。

## 主結果 3

連続関数  $f_0(x)$  が存在して、 $u \rightarrow 0$  のとき  $f(x, u)/|u|^{q-2}u$  が  $f_0(x)$  に一様収束するものとする。さらに、方程式

$$-\Delta_q v = f_0(x)|v|^{q-2}v \quad (x \in \Omega), \quad v = 0 \quad (x \in \partial \Omega)$$

の非自明な解が存在しないと仮定する。

このとき、ある正定数  $c$  が存在して、 $(p, q)$ ラプラス方程式の全ての非自明な解の  $C^1$  ノルムは  $c$  以上となる。

## 主結果 4

方程式

$$-\Delta_p u - \Delta_q u = a(x)|u|^{r-2}u + b(x)|u|^{s-2}u \quad (x \in \Omega), \quad u = 0 \quad (x \in \partial \Omega)$$

を考察する。ここで、 $a(x)$ ,  $b(x)$  は連続関数であり、 $1 < q < p$ ,  $1 < s < r$  とする。このとき、 $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $s$  の大小関係に応じて、 $C^1$  ノルムが  $0$  に収束する解の列の存在、 $C^1$  ノルムが無限大に発散する解の列の存在、及びそのような解の列の非存在に関する詳細な結果が得られた。

## 論文審査結果の要旨

準線形楕円型偏微分方程式では、微分作用素が非線形になる。その代表的な例が  $p$  ラプラス方程式である。また主要部が  $p$  ラプラス作用素と  $q$  ラプラス作用素の和となる場合が  $(p,q)$  ラプラス作用素であり、近年その研究が活発に行われている。1次元の  $(p,q)$  ラプラス方程式の解の分岐の研究、高次元の場合の正值解の存在の研究などが行われている。

本論文では、 $(p,q)$  ラプラス方程式の解の多重存在について研究している。有界領域においてディリクレ境界条件の下で、 $1 < q < p$  として  $(p,q)$  ラプラス方程式の解の多重存在について研究している。

$C^1$  ノルムがゼロへと収束するような解の列、無限大へと発散するような解の列の存在、非存在のための非線形項についての十分条件を与えている。また、 $(p,q)$  ラプラス方程式の全ての非自明な解に対するアプリオリ評価を与えている。本学位論文の主結果は以下の通りである。

### 主結果 1

非線形項が  $p$  次より早く、ソボレフ臨界指数より遅い増大度を持つ場合に  $C^1$  ノルムが無限大へと発散するような解の列が存在する。従って、解は無限に多く存在する。

### 主結果 2

非線形項が  $q$  次より遅い増大度を持つ場合に  $C^1$  ノルムが  $0$  へと収束する解の列が存在する。この場合も、解は無限に多く存在する。

### 主結果 3

非線形項が  $u=0$  の近傍で丁度  $q-1$  次の増大度を持ち、 $u$  を  $0$  に近づけたときの極限方程式が非自明解を持たないならば、解の  $C^1$  ノルムの下からの評価が得られる。従って、解の列で  $0$  に収束するものは存在しない。

### 主結果 4

非線形項が  $u$  の  $r$  乗と  $u$  の  $s$  乗の和である場合に、 $p, q, r, s$  の順序関係から  $C^1$  ノルムが  $0$  に収束する解の列の存在、 $C^1$  ノルムが無限大に発散する解の列の存在、及びそのような解の列の非存在に関する詳細な結果を与えている。

本論文の手法は、変分法と関数解析に基づくものであり、それらを用いて解の正則性を証明している。さらに symmetric mountain pass lemma を用いて解の多重存在を証明している。これらの手法は極めて独創的なものである。

これらの研究は、準線形楕円型偏微分方程式の解空間の構造を解明する上で非常に重要な結果である。解が無限に多く存在することにより解空間が複雑な非線形構造を持つことが予想される。

本論文の結果は、査読付きの国際雑誌である *Nonlinear Differential Equations and Appl.* 23 巻 (2016 年) に既に出版されている。また日本数学会 (2016 年 9 月、関西大学) の関数方程式論分科会の一般講演において本論文の内容を口頭発表している。

平成 30 年 2 月 6 日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本論文は、国際的な学術雑誌に審査付学術論文 1 編が掲載され、著者は研究者として十分な能力を有しているといえる。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士 (理学) の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) 福島 悠介 (福岡県)  
 学位の種類 博士(工学)  
 学位記の番号 甲第 622 号  
 学位授与の日附 平成 30 年 3 月 23 日  
 学位論文題名 非平衡非均一凝縮を伴う超音速環状旋回流に関する研究

## 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 松尾 繁  
 (副査) " " 木上 洋一  
 " " 准教授 塩見 憲正  
 " " " 橋本 時忠  
 " 佐賀大学名誉教授 瀬戸口 俊明

## 論文内容の要旨

近年、他の燃料に比べて燃焼した際の二酸化炭素排出量の少ない天然ガスの需要が増加している。しかし、天然ガスを採取する際にガス中に水分が含まれると、処理や輸送中に露点以下まで冷却され液化するためパイプライン等の閉塞の可能性が生ずることがわかっている。よって天然ガスに含まれる水分の除去は必須である。また、最近では凝縮性気体が超音速流動場を流れる際に生ずる凝縮現象と旋回流を利用することで、凝縮性気体を分離・抽出する技術が開発されつつある。この技術を用いた装置は、他の分離装置と比較して、化学物質を使用しない、また小型化できるなどの利点を持つ。

本研究で取り扱う旋回流では、旋回を伴わない流れと比較すると流れの内部構造はより複雑となり、その流れの影響は機器の性能を左右するほどである。よって、旋回を伴う流れは、工学的に重要な研究課題である。

ところで、水蒸気や湿り空気のような凝縮性気体が流れ場で急速に加速・膨張する場合、流れの中に微小な液滴が形成されることが知られている。このプロセスでは、均一凝縮(非平衡凝縮)が発生する。一方、非均一凝縮と呼ばれる凝縮現象では、火災や各種産業からの煙や蒸気、土壌からの塵、化学反応による粒状物質などの微粒子上で蒸気の凝縮が起こる。この非均一凝縮では固体微粒子の数密度や粒子半径が流れ場に影響を及ぼすことが考えられるが、詳細な研究が少ないのが現状である。

本研究では、超音速環状流れ場で生ずる非平衡非均一凝縮と旋回流を利用した場合の効果的な水分回収に及ぼすノズル形状の影響を数値的に調べ、機器サイズの小型化の可能性を調査するとともに超音速ノズル内で生ずる液相に及ぼす旋回流の効果を調べている。

本論文は、第1章から第8章で構成されている。

第1章では、旋回流と非平衡非均一凝縮に関する

従来の研究、および本研究の目的を述べている。

第2章では、凝縮現象の理論を説明し、液相半径方向分布比とスワール数の定義について述べている。

第3章では、本研究で使用した基礎方程式を示し、離散化手法や境界条件等について述べている。

第4章では、本研究で使用した計算プログラムの妥当性を示すために実験と数値解析結果を比較している。また、計算結果に対する乱流モデルと格子依存性について述べている。

第5章では、発生する液滴を効果的に外管側壁面に寄せるための最適なノズル形状を調査している。その結果、旋回を伴う場合のノズル出口での液相の半径方向分布比より、液相は旋回を伴わない場合と比較して外管側壁面寄りとなることを示している。また、内管側開き角を大きくした場合、液相はより外管側壁面寄りとなり、旋回流の影響を効果的に得るのに適していることを明らかにしている。さらに、ノズル入口断面積を半分にした場合とノズルスロート下流部外管側に角部を設けた場合(出口形状を変化させた場合)のノズル形状の組み合わせが、特に液相を外管側壁面寄りにすることができることを示している。これらの結果より、ノズル入口形状と出口形状を変えることで機器サイズの小型化が可能であるという有用な知見が示されている。

第6章では、最適な環状ノズルの下流域に設置した水分回収用分岐管内流れに及ぼす分岐管形状の影響を調査している。その結果、分岐板の開き角が小さい場合と大きい場合で比較すると分岐側の断面積変化が大きくなる場合(分岐板開き角が小さい場合)に、より流れが加速膨張するため分岐側の圧力が小さくなること、また分岐管側の流路中心のマッハ数や密度分布は断面積変化が大きくなる場合、旋回の有無に係らず大きく変化することを示している。さらに、主流側流路中心のマッハ数分布はスワール数と初期過飽和度が同じであれば分岐管側形状に依存しないことを明らかにしている。

第7章では、最適な超音速環状ノズル内の流動場に及ぼす非均一凝縮の影響を調べている。その結果、固体微粒子数と固体微粒子半径の値に係わらずスワール数の増加とともに核生成率が最大値となる位置は上流側に移動すること、また液相の半径方向分布比はスワール数に依存することを明らかにしている。さらに、外管側の壁に角部を設け膨張波を発生させることで、静圧は旋回の有無に関わらず膨張波が発生する位置から下流側の位置で小さくなること、均一凝縮と非均一凝縮の場合のスロートからノズル出口までの流路各断面での液相の半径方向分布比にはほとんど差がないことを示している。

第8章では、本研究で得られた成果についてまとめている。

## 論文審査結果の要旨

本研究論文は工学的に貴重な知見を多く含み、本計算手法により非平衡非均一凝縮を伴う超音速旋回流れの子測が可能であること、発生する液滴を効果的に外管側壁面に寄せるための最適なノズル形状を明らかにしていること、ノズル入口形状と出口形状を変えることで機器サイズの小型化が可能であることなどを明らかにしている。また、水分回収用分岐管内流れに及ぼす分岐管形状の影響を明らかにしている。さらに、最適な超音速旋回環状ノズル内の流動場に及ぼす非均一凝縮の影響を固体微粒子数と固体微粒子半径の観点から明らかにしている。本研究の成果は、査読付論文として学術誌に3編掲載されており、十分な実績を示している。よって本論文は、博士(工学)の学位に値するものと認められる。

平成30年1月26日に博士学位論文の公聴会を実施した。公聴会ではこれらの内容が分かりやすく丁寧に説明され、質問者からの質問に対しても適切な回答がなされた。

さらに、博士論文審査終了後に最終試験として、博士論文に関連する内容について口述試験を実施した。口述試験は、博士論文を中心として、流体工学、圧縮性流体力学、および数値流体力学などに関連する内容について行った。学位申請者からは研究成果を踏まえた適切な回答が得られた。さらに申請者は、専門知識を有し、高速流動場の流動状態や計算データの解析能力、本研究の有用性や将来性についての理解などにおいても優れていると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

氏名(本籍) 吉賀夏子(佐賀県)  
 学位の種類 博士(学術)  
 学位記の番号 甲第623号  
 学位授与の日附 平成30年3月23日  
 学位論文題名 非構造化記述を含む文化財書誌に  
 対するLinked Data化手法の開発  
 —古典籍書誌データへの適用とそ  
 の評価—

#### 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 只木進一  
 (副査) " " 岡崎泰久  
 " " " 松前進  
 " " 准教授 大谷誠  
 " 広島大学 教授 渡辺健次

### 論文内容の要旨

古典籍などの文化財の書誌情報や画像などが、大規模な収蔵館からオンラインで公開されつつある。当該分野の研究者にとっては、対象となる古典籍の収蔵場所を知る重要な手がかりである。これらの書誌の中には、本文以外の例えば序や跋の著者や書籍の発行書肆などの情報も注記欄に記載されており、対象となる書籍間や著者間の関係を知る重要な手がかりとなっている。

これらのオンライン公開された書誌情報はヒトが読むことで理解することを前提としており、コンピュータプログラムを用いて、大量に、かつ横断的に検索すること(機械可読)を想定していない。本研究は、既存の古典籍書誌情報を機械可読に自動的に変換する手法を提案し、実用的時間で現実の古典籍書籍を変換する支援をしようとするものである。

本論文は6章で構成されている。第1章では、ヒトが見て理解することを目的とした、現状の古典籍に対する書誌情報の課題と解決方向について検討している。大きな課題は二つあり、第一はデータの不十分な正規化、つまり値と型の不整合がある。また、研究者にとって書籍の来歴や他の書籍との関連性の手がかりとなる記述が注記欄に簡潔な自然文で記入されている。これらの情報を適切に保存するためのデータ構造が欠けていることが第二の課題である。

本論文では、機械可読なデータ公開の方法としてSemantic Web技術の活用を目標としている。そのため基本技術について、第2章で解説を加えている。

既存の書誌データでは、注記欄の自然文による記述の正規化されたデータへの変換が重要なポイントとなる。本研究では、自然文から単語を切り取る技術である形態素解析を基礎に、Semantic Webに適したデータへの変換を行う。第3章は、本論文の中心となる部分であり、既存の書誌データからSemantic

Web用のLinked Dataと呼ばれる形式への自動変換手法を提案している。提案手法は、本学の所蔵する「市場直次郎コレクション」を対象に開発を進めた。

提案手法を実現するために、書誌中の用語を適切に分析するための準備が必要となる。この用語の中には、書誌中に出現する固有名詞のほか、古典籍の書誌で使われる専門用語なども含まれる。これらの用語の辞書を用意することで、形態素解析の精度向上が可能となる。また、Linked Data化のためには、要素間の関係を機械可読な形で定義する必要もある。そのため、文化財を記述するためのデータ構造(オントロジー)を、国際的に標準化されている汎用オントロジーを参照しながら、対象に適した小規模なものを定義し、収集した単語との関連付けを行った。

上記の準備の下で、実質的に自動的処理により、既存の書誌情報から目的とするLinked Data形式への変化を行うことができる。さらに、他の機械可読なWebサイトで定義されている用語との関連付けをURI(Uniform Resource Identifier)を通じて行うことができる。このURIによる関連付けは、古典籍の専門家による確認が必要な部分が残る。特に、古典籍に現れる人名は、同姓同名のリストからの選択が必要である。

第4章では、提案手法の精度の議論と性能に関する評価を行った。提案手法に含まれる要素毎に、精度向上への寄与を分析し、提案手法の有効性について確認した。また、提案手法を国文学研究資料館所蔵の「日本古典籍データセット」の一部へ適用し、その有効性を確認した。これらを通じて、現実的時間で、既存の書誌情報をLinked Data形式へと変換できることを示した。

インターネットで公開された情報から有用な情報を機械的に得るための研究はいくつかある。また、図書館や美術館などの収蔵情報の電子的アーカイブ作成、相互参照などについても研究が展開されている。第5章では、関連する研究のなかで、本研究を位置づけ、今後の展開の方向を検討している。最後に第6章で、本研究の成果をまとめている。なお、本論文の内容は、査読付き学術論文1編として公表されている。

### 論文審査結果の要旨

本研究はインターネットの普及の中で文化財情報の活用を推進するうえで障害となっている書誌情報の機械可読化に大きく貢献する提案を行っているものである。このような博士論文の内容に基づき、平成30年1月25日に実施した学位公聴会において、手法の汎用性、結果の精度や効率など、様々な質問がなされ、いずれも著者により適切な回答・説明がなされた。以上の審査結果により、本論文は博士(学

術)の学位を授与するに値すると判断し、審査委員全員一致で合格と判定した。

博士論文審査終了後に実施した口述試験では、博士論文「非構造化記述を含む文化財書誌に対するLinked Data化手法の開発」を中心として、誤検知とその対応、精度分析などについて質問を行った。申請者自身の研究成果に基づいた適切な説明がなされ、基盤となる理論・技術に対して十分な理解がなされていることを確認した。

以上、本申請者が、博士論文を中心とした最終試験において十分な内容の知見を有することを示したことより、最終試験の結果を合格として、審査委員全員一致で判定した。

氏名(本籍) Md. Mostaqur Rahman  
(バングラデシュ)  
学位の種類 博士(工学)  
学位記の番号 甲第624号  
学位授与の日附 平成30年3月23日  
学位論文題名 Condensation Heat Transfer and  
Pressure Drop in Horizontal  
Rectangular Multiport Minichannels  
and Small Diameter Microfin Tubes

## 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 宮 良 明 男  
(副査) " " 光 武 雄 一  
" " " 木 上 洋 一  
" " 准教授 仮 屋 圭 史

## 論文内容の要旨

Multiport minichannels and microfin tubes are increasingly being used for the fabrication of compact and high performance heat exchangers in air-conditioning, refrigeration, automotive, heat pump systems and some other industrial applications for a wide variety of applications. The main target of using compact heat exchanger is to improve the performance of the system and reduce the charge amount of refrigerant. The charge reduction is very important in recent air-conditioning, refrigeration and heat pumping systems because of the great impact of HCFC and HFC refrigerants on the direct greenhouse effects. However, the pressure drop and heat transfer characteristics in multiport minichannels and small diameter microfin tubes are questionably to be different from the conventional tubes of diameter greater than 3.0 mm. The behavior of the most important parameters such as pressure drop and heat transfer characteristics in reduced geometry is not clarified sufficiently yet for the design of compact and high performance heat exchangers. Although, several researchers extensively investigated the pressure drop and heat transfer in multiport minichannels and small diameter microfin tubes, but the design engineer still facing problem for accurate predictive tools for pressure drop and heat transfer prediction in two-phase flow.

To investigate the effects of different parameters on the pressure drop and heat transfer, a new experimental apparatus to obtain explicit pressure drop and local condensation heat transfer coefficient measurements over a range of test conditions has been fabricated. Multiple variables were recorded in order to calculate pressure drop and local heat transfer coefficient in two-phase adiabatic and condensing flow within multiport minichannels and microfin tube, respectively. The effects of mass flux, saturation temperature, vapor quality and channel geometry on adiabatic frictional pressure drop and condensation heat transfer coefficient were

investigated and clarified.

The experimental results discovered that the mass flux, saturation temperature, vapor quality, and channel geometry play an important role in increasing or decreasing an adiabatic frictional pressure drop and condensation heat transfer coefficient in both multiport minichannels and microfin tubes. Some models over-predicted the experimental frictional pressure drop and condensation heat transfer data, some are under-predicted and few models captured the trend correctly within the limits of experimental error. Due to the variety in operating condition consideration during the models development and complex characteristics of two-phase flow, most of the existing models were failed to capture the experimental data with a high degree of accuracy.

In addition, a new two-phase frictional pressure drop correlation is developed for multiport minichannels to predict the frictional pressure drop correctly.

The correlation has been developed using the experimental data by considering the effects of inertia, viscous force, fluid properties, channel geometry and surface tension. A new condensation heat transfer correlation was also proposed to improve the accuracy of the condensation heat transfer coefficients prediction of two-phase flow in horizontal rectangular multiport minichannels.

Furthermore, the newly proposed correlations for frictional pressure drop and condensation heat transfer coefficients prediction has also been validated with the available frictional pressure drop and heat transfer data collected from the open literature. Both frictional pressure drop and condensation heat transfer coefficient correlations showed good agreement with the collected data.

## 論文審査結果の要旨

冷媒によるオゾン層破壊や地球温暖化への影響が大きな環境問題となり、これまでも様々な規制が行われたが、近年、パリ協定やモントリオール議定書のキガリ改正などを受けて、冷媒の製造や管理に対する規制がさらに厳しくなる方向に向かっている。本研究で対象としている扁平多孔管や細径銅管など、細径流路内の凝縮熱伝達は、熱交換器の性能向上を目的とし、またその設計に必要な情報を与えるものであるとともに、冷凍空調機の冷媒充填量の削減を行うことで地球環境問題の防止につなげようとするものである。

第1章では、これまでに開発された様々な形状や材質の種々の伝熱管について、数多くの文献を引用しながら総合的な研究調査を行い、熱伝達の促進技術の紹介、相変化伝熱の基礎的理解を助けるための解説がなされている。研究対象の細径流路内の凝縮熱伝達に関しては、詳細な文献調査が行われている。

また、本章では、研究の概要や本論文の構成についての説明も行っている。

第2章では、実験装置やデータ整理方法に関して詳しく説明されている。装置は扁平多孔管のテストセクションと細径銅管のテストセクションが並行して設置されており、測定方法なども独自に工夫されている。また、熱収支の実験から実験装置の健全性についても示されている。

第3章では、扁平多孔管および細径銅管内の気液二相流の圧力損失に関する実験結果が示され、質量速度の影響や乾き度の影響などが詳しく検討されている。また管内面形状の影響に関しては、伝熱促進のために加工されたマイクロフィンによる圧損増加への影響が報告されている。

第4章では、扁平多孔管およびマイクロフィン付管の凝縮熱伝達率の特性が詳細に検討されている。実験条件はそれぞれで異なるが、低流量から高流量まで、高乾き度から低乾き度までの広い範囲で実験が行われ、マイクロフィンによる伝熱促進効果が高いことを報告している。

第5章では、断熱二相流の条件下で得られた圧力損失について、実験結果を予測する相関式の検討を行っている。これまでに多くの研究者によって提案された相関式と実験値との比較を行い、各相関式の評価を行い、全てのデータを正確に予測する式が無いことが示されている。

第6章では、凝縮熱伝達率に関して、これまでに提案されている相関式と実験値との比較を行い、それぞれの式の特性の検討および評価を行っている。特に凝縮熱伝達で課題となる強制対流凝縮領域と体積対流凝縮域の熱伝達率の式の形を検討している。なお、これまでに多くの相関式が提案されているが、全てのデータを精度よく予測する式が無いことを示している。

第7章では、圧力損失および熱伝達率の新たな相関式を提案している。式の作成には第5章および第6章で検討したこれまでの相関式が参考にされており、提案された式により、本実験のデータだけでなく、他の研究者によって得られたデータも精度よく予測できることが報告されている。

第8章では、本論文で示された研究結果の総括が行われるとともに、今後の研究課題、方向性に関する提言を行っている。

本研究で得られた成果は、独創的な新しい結果を含んでおり、工業的に広く応用できるものである。

平成30年2月5日に実施した博士論文公聴会では、これらの内容が分かりやすく丁寧に説明され、質問に対しても適切な回答がなされた。

なお、本研究の内容は4件の査読付き Journal 論文に掲載されるとともに、3件の国際会議で発表されている。

以上のことより、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員の一致で合格と判定された。



氏名(本籍) RIMI RASHID  
(バングラデシュ人民共和国)  
学位の種類 博士(工学)  
学位記の番号 甲第625号  
学位授与の日附 平成30年3月23日  
学位論文題名 RF Signal Processing Planar  
Antennas for Beam Tracking and  
Direction-of-Arrival  
Estimation  
(ビーム追尾および到来方向推定  
用RF信号処理平面アンテナに関  
する研究)

## 論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 豊田 一彦  
(副査) " 准教授 深井 澄夫  
" " " 佐々木 伸一  
" " " 田中 高行

## 論文内容の要旨

本研究は、複数のアンテナで受信した電波をRF(高周波)帯で直接信号処理する新しい機能アンテナに関するものであり、電波の到来方向にアンテナの主ビームを向けるビーム追尾アンテナや広い角度の到来角推定を可能とするアンテナ、2軸の到来角推定を可能とするアンテナを提案している。これらのアンテナはいずれも、RF信号処理を実現するマイクロ波回路とアンテナ素子を一体複合化するというコンセプトに基づいたものであり、非常にシンプルな構成で実現されている。

本論文は、全6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景、無線通信システムやレーダシステムおよびこれらに用いられるアンテナ技術の動向、研究の目的と手法、論文の構成について述べている。

第2章では、マイクロストリップアンテナと両平面回路技術を用いた合成分配回路やマジックTについて述べている。これらの回路は、高周波信号の加算、減算、乗算といった信号処理をするうえで不可欠な回路であり、その代表的な特性をシミュレーションにより示している。

第3章では、平面型マジックT、移相器およびアンテナ素子を集積した新しい構成のビーム追尾アンテナを提案している。ビーム追尾の原理は、2つのアンテナで受信した信号をマジックTによりRF帯で信号処理し、その和成分と差成分を算出し、差成分が最小となるように移相器を制御することによりアンテナの主ビームを電波の到来方向へ向けるものである。電波が斜め方向から到来した場合、2つのアンテナで受信した信号には位相差が生じる。このた

め、通常のアレーアンテナで用いる同相合成回路では到来角度が大きくなるにつれてアンテナ利得が低下するという問題がある。これは、受信信号の位相差に伴う差成分がキャンセルされることにより生じるものである。したがって、移相器を調節して差成分が0となるよう位相差を補償することにより斜め方向から到来した場合でも高い利得を得ることができる。このために受信信号の差成分を検出することが必要となるが、本提案アンテナでは平面型マジックTを用いることで簡易な構成でこれを実現している。

第4章では、モノパルス方式による到来角推定アンテナの広角度化について述べている。従来のモノパルス方式の到来角推定では、2つのアンテナで受信した信号の和成分と差成分の大きさのみを用いて到来角を推定していた。和成分と差成分は、到来波がアンテナの正面方向に対して右方向から来ているか左方向から来ているかによって位相の進み遅れが逆転する。しかしながら、従来のモノパルス方式では和成分と差成分の大きさのみを用いるため、到来方向の左右に対して同じ出力を与え、左右を区別することができなかった。これに対して、提案アンテナではRF乗算器を組み込むことにより和成分と差成分の位相関係を検出できるようにしている。これにより、到来方向の左右を区別できるようになり、モノパルス方式到来角推定アンテナの広角度化を実現している。

第5章では、モノパルス方式到来角推定アンテナを2軸に拡張した機能アンテナについて述べている。本アンテナでは、2層の誘電体基板とリングスロットアンテナを用いることにより、到来角推定に必要な和・差成分をx軸方向とy軸方向で別々に取り出せるよう構成しているところが特徴的なところである。従来のモノパルス方式到来角推定アンテナでこのような構成を実現しようとした場合には、給電回路に立体交差などが必要となり、回路構成が非常に複雑となる。これに対して、本提案アンテナでは2層の誘電体基板とリングスロットアンテナを用いることで、この問題を解決している。

第6章では、各章を要約し、本論文を総括している。

本論文では、各アンテナの動作原理を理論的に説明するとともに、シミュレーションと試作によりその特性を詳細に検討している。これらのアンテナは、基板の両面に配置したマイクロストリップ線路とスロット線路を有効に活用した構造のアンテナであり新規性に富むものである。近年は、あらゆるものが無線によりインターネットにつながるIoT(Internet of Things)の時代になり、自動車にもレーダが搭載されるようになった。本論文は、このような応用分野のアンテナ技術に対して新しい知見

を与えるものである。

### 論文審査結果の要旨

学位申請者，RIMI RASHID 氏に対して，平成 29 年 12 月 7 日に事前審査を実施し，申請者による学位論文内容の発表およびそれに関する質疑応答がなされ，審査対象として十分な内容であることを確認した。また，本論文に関する公表状況は審査付き学術論文 1 編，査読付き国際会議論文 2 編であり，論文業績・学会での発表経験が所定の要件を満たしていることを確認し，申請者は十分な研究遂行能力と学際的素養を有していると判断した。

平成 30 年 2 月 15 日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ，いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。これにより幅広い領域に対する学際的知識と総合的判断力，弾力的な対応力を備えていると判断した。

以上の審査結果に基づき，本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され，審査員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) IQBAL AHMED  
(バングラデシュ人民共和国)

学位の種類 博士(学術)

学位記の番号 甲第626号

学位授与の日附 平成30年3月23日

学位論文題名 Sustainable Green Service Level Agreement (GSLA) Framework Development for IT and ICT Based Industries.  
(ITおよびICT産業のための持続性を考慮したグリーンコンピュータに係るサービス品質保証フレームワークの開発)

#### 論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	奥村	浩
(副査)	〃	〃	福田	修
〃	〃	〃	花田	英輔
〃	〃	〃	堀	良彰
〃	〃	名誉教授	新井	康平

#### 論文内容の要旨

Service Level Agreement (SLA) は、サービスを提供する企業と、その利用者間で結ばれるサービスのレベル(定義、範囲、内容、達成目標等)に関する合意サービス水準で、サービス品質保証などとも称される。

本研究は、ITおよびICT企業における Green Service Level Agreement (GSLA) の新しいフレームワークの提案、およびそのフレームワークの評価を行っている。

本提案手法は、ITおよびICT企業における各種のサービスを、ネットワーク、コンピュータ、ストレージ、マルチメディアの4つに分類し、環境、経済、および倫理的な観点から新しい Green SLA 指標およびフレームワークを構築している。また、提案手法の評価は、要素間の因果関係分析の代表的な手法であるベイジアンネットワークモデルを利用している。

本論文は、5つの章から構成されている。

第1章では、に関する背景、SLAおよびGSLAの定義、本研究の着想に至る動機や目的、および本論文の構成について記載されている。

第2章では、異なる環境での基本的なSLAに関する既往研究について概説している。また、ITおよびICT企業においてエコロジーを取り入れたGreen SLAの構成や単位について詳説している。

第3章では、研究手法、各種サービスについての基本的なSLAや既往のGreen SLAのサービスレベル指標について記述している。特に本章では、各種の

サービスを大きくネットワーク、コンピュータ、ストレージ、マルチメディアの4つに分類している。

第4章では、環境、経済、および倫理的な観点からITおよびICT企業での利用に着目した新しいGreen SLA指標やフレームワークの提案を行っている。また、提案手法の有効性を評価する指標として、要素間の因果関係分析の代表的な手法であるベイジアンネットワークモデルの利用を提案している。

最後の第5章では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、提案したGSLAフレームワークに関する将来解決していく必要がある課題について議論している。

#### 論文審査結果の要旨

本学位論文の内容は、4編の学術論文にまとめられ、いずれも査読付き欧文学術論文誌に採録されている。

平成30年1月22日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文4編で報告されており、本研究は博士の学位に値すると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士(学術)の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) WANG CHUANZENG  
(中華人民共和国)  
学位の種類 博士(理学)  
学位記の番号 甲第627号  
学位授与の日附 平成30年3月23日  
学位論文題名 Synthesis and Photophysical  
Properties of Donor/Acceptor  
Substituted Pyrene-Based  
Fluorophores  
(ドナーアクセプター置換ピレン  
を基盤とした蛍光体の合成と光物  
性)

## 論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	大和武彦
(副査)	"	"	北村二雄
"	"	"	花本猛士
"	"	"	竹下道範

## 論文内容の要旨

Pyrene as a typical polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) possesses unique optoelectronic properties and features that can be readily modified, which have allowed them to be extensively explored as fluorophores, particularly in view of their additional favorable stability and high fluorescence efficiency. Based on this excellent extended carbon-rich  $sp^2$ -hybridized scaffolds, pyrene-based derivatives have been used in organic electronic devices and organic semiconductors. In this thesis, we investigated the emission properties of pyrene-based fluorophores by constructing the different type molecules, such as such as A- $\pi$ -A, D- $\pi$ -D, and D- $\pi$ -A pyrene-based derivatives.

In chapter 1, a set of extended  $\pi$ -conjugated pyrene derivatives were synthesized. Despite the presence of the tert-butyl group located at the 7-position of pyrene, X-ray crystallographic analyses show that the planarity of the Y-shaped molecules still exhibits strong face-to-face  $\pi$ - $\pi$  stacking in the solid state; all the compounds exhibit blue or green emission with high quantum yields (QYs) in dichloromethane.

In chapter 2, a brief introduction focus on the

development of pyrene chemistry is presented at the beginning, including the application as organic materials, mechanism of luminescence, objects and motivation in our present work.

In chapter 3, a facile strategy to tune the emission color of pyrene-based chromophores has been established by simple functional group modification at the *para* position to the diphenylamino on the donor building block. The results obtained could be explained by the Hammett method and by density functional theory (DFT) calculations. This positive correlation can be used to develop a predictive method for these types of systems.

In chapter 4, a controllable regioselective approach to achieve dipolar functionalization at the active sites and K-region of pyrene is demonstrated. Further, by adjusting the substituents at the 5,9-positions of pyrene, the pyrene-based dipolar molecules exhibit wide tunable emission from blue to orange-red, which opens up new avenues to explore strategy to functionalize pyrene and to greatly expand the scope for developing highly efficient pyrene-based photoelectric materials.

In chapter 5, a rational design of pyrene-based dipolar molecules with two-photon absorption (TPA) properties is presented, and a series of 1,3-diphenyl-6,8-diarylethynyl- pyrene compounds with wide-range color tuning and large TPA cross-sections (up to  $2.2 \times 10^3$  GM) are reported. These results indicate that they are promising candidates for several applications in practical photonics and biological imaging applications.

In summary, several kinds of pyrene-based fluorophores were investigated. Different strategies to design and synthesize pyrene-based organic materials with tunable emission properties were established. In this work, we have presented a novel and significant result, which can expand the new fundamental concepts, synthetic strategies, and application in organic electronics.

## 論文審査結果の要旨

有機 EL (Electroluminescence) 素子は、自発光、広視野角、高速応答性、薄型、低消費電力などの優れた長を有しており、次世代の自発光型のフルカラーフラットパネルディスプレイとしての応用が注目され数多くの研究開発が行われている。しかしながら、これまでの有機 EL 素子における発光色の中で、青色発光は色純度、発光効率ともに低く、色純度および発光効率の高い青色発光の実現が囑望されている。

本論文では、ドナー/アクセプター基が置換した有機  $\pi$ -電子系発光体の分子設計と合成およびその発光特性の解明並びに素子評価をまとめたものである。本学位論文成果は2章から5章に著されており、6章においてそれらの総括をしている。

第1章では有機 EL の概論および研究の意義と目的について述べている。

第2章では、有機 EL 材料として報告されている中でも低分子量有機材料を中心に、ホール輸送材料、電子輸送材料並びに RGB 発光材料について紹介し、本研究で縮合多環芳香族化合物の中でもピレンを基盤とする有機 EL 材料の開発の有用性について述べている。さらに、ピレンを基盤とする有機 EL 材料の開発には励起状態における分子内電荷移動の制御が重要であることを言及している。

第3章では、一連の新規 Y 型 1,3-ビス (*N,N*-ジアリールアミノ) -7-*tert*-ブチルピレン類の選択的合成法開発および発光特性について述べている。ジフェニルアミノ基の *para*-位の置換基を種々変えることにより、バンドギャップ (HOMO-LUMO エネルギーギャップ) を制御することに成功している。さらに、*para*-位の置換基の発光特性に及ぼす影響を単結晶 X 線構造解析、サイクリックボルタンメトリー (Cyclic Voltammetry) および密度汎関数理論 (Density Function Theory) 計算に基づいて考察している。

第4章においては 1,3-位にアクセプター基を

5,9-位にドナー基をもつ Butterfly 型ピレン発光体の選択的合成法開発および発光特性について述べている。5,9-位にドナー基として導入したジアリールエチニル基の *para*-位の置換基の種類により、発光波長が青から橙色まで ( $\lambda_f = 427 \sim 520 \text{ nm}$ ) 制御可能で、発光の色純度が高く、量子収率も 0.54~0.98 と高い値を示した。

第5章では、1,3-ジフェニル-6,8-ジアリールエチニルピレン類の位置選択的な合成法開発および発光特性について溶液中および結晶状態で系統的に検討している。本物質は二光子吸収特性 (two-photon absorption properties) を示した。特に、本研究で既存の二光子吸収材料に匹敵するほどの発光体を創成出来たことは特筆すべき成果である。

第6章では、本論文の総括として、縮合多環芳香族化合物を基盤とする有機 EL 材料としての実用化の可能性を述べるとともに、今後の課題についても言及している。

以上、縮合多環芳香族化合物を基盤とする新規な有機 EL 材料を創製するとともに、その EL 発光特性の評価を行い、発光素子材料としての有効性を明らかにするなど、多くの研究成果が得られている。本研究成果は、有機 EL 材料の構築への重要な指針を与え、今後の EL 素子研究開発に寄与することが大きい。

平成30年2月1日の公聴会において学位論文の内容及び参考論文の関連事項などについての説明を受けるとともに、質疑応答を行った。それに対して、今後の展望も含めて同氏により明確に解説され、的確な応答があった。

また、本研究は、審査付学術論文6編、学会発表5件等で報告されており、本研究は博士の学位に値すると言える。

よって、本論文は、博士(理学)の学位論文に値するものと認める。



平成30年度理工学部  
集報・サイエンテック編集専門委員会

委員長 泉 清 高（機械システム工学学科）  
委員 中 村 健 太 郎（数理科学科）  
山 内 一 宏（物理科学科）  
上 田 俊 （知能情報システム工学科）  
江 良 正 直（機能物質化学科）  
三 沢 達 也（電気電子工学科）  
李 海 峰（都市工学科）

平成30年6月20日 発行

編集兼 〒840-8502 佐賀市本庄町1  
発行者 佐賀大学理工学部

Reports of the Faculty of Science and Engineering,  
Saga University, Vol. 47, No. 1, June, 2018

Contents

Decidability of Schrödinger's cat states ···Takasi ENDO··········	1
Precious metal ions adsorption on unmodified chitin gels ···Keisuke OHTO · Dan Yu · Hidetaka KAWAKITA · Shintaro MORISADA · Katsutoshi INOUE········	5
Summary and examination of doctoral thesis ·········	10