

2006.6

特集号



(題字：相良祐輔学長)

国立大学法人 高知大学学報

高知大学学位授与記録第十二号

評価広報課発行

本学は、次の者に博士（理学）の学位を授与したので、高知大学学位規則第15条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

目 次

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
甲理博第 10 号	高田 雄一	有色素繊維毛虫における光酸化ストレスとその耐性防御機構	1
甲理博第 11 号	大西 宏昌	A dyadic Tamm-Dancoff method by using a matrix-valued generator coordinate	3
甲理博第 12 号	隈本 康司	超高压反応の特性を利用した無触媒的縮合反応の開発と環境調和型分子変換への展開	5
甲理博第 13 号	橋本 佳典	QCD-like 理論でのカイラル相転移の有効ポテンシャルによる研究	7
甲理博第 14 号	フー シュウラン	Formation mechanism and phase relation of calcium silicate hydrates under hydrothermal conditions (水熱条件下でのケイ酸カルシウム水和物の生成機構と相関係)	9
甲理博第 15 号	白木 久雄	Braids and fixed point indices of homeomorphisms on the torus (組み紐とトーラス上の同相写像の不動点指数について)	11
乙理博第 4 号	大野 修	Numerical study for descriptions of pi and sigma mesons by Nambu-Jona-Lasinio Model with the use of resonating mean field theory (共鳴平均場理論を用いた南部-ジョナラシニオモデルによるパイとシグマ中間子の記述に対する数値的研究)	13
乙理博第 5 号	大盛 信晴	チャカルタヤ空気シャワー実験による Knee 領域の宇宙線化学組成とエネルギースペクトル	15
乙理博第 6 号	末永 仁士	有機官能基変換法の開発による有機液晶材料の合成と液晶材料の機能評価	17

ふりがな 氏名(本籍)	たかた ゆういち 高田 雄一 (福岡県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	甲理博第10号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成18年3月23日
学位論文題目	有色素繊毛虫における光酸化ストレスとその耐性防御機構
発表誌名	(1) FEMS Microbiol. Lett. 231, 185-189
	審査委員 主査 教授 松岡 達臣 副査 教授 町田 吉彦 副査 教授 鈴木 知彦

論文の内容の要旨

繊毛虫ブレファリスマは細胞表層に小胞構造を有し、その中にはブレファリスミンと呼ばれる光受容色素が多数存在している。これまでの研究により、ブレファリスミンは光回避反応や外敵からの防御物質としてはたらいっていることが生体を用いて示されている一方で、抽出された色素に光を照射することでヒドロキシルラジカルや一重項酸素といった活性酸素種が発生することも報告されている。本研究では、光照射下における細胞のストレス(光酸化ストレス)とその耐性防御機構を仮定し、それを実証するために実験をおこなった。

まず、*in vivo* での活性酸素の光依存的な発生を確かめるために活性酸素検出蛍光試薬 DCFH-DA を用いて細胞内活性酸素レベルを測定した。その結果、暗中で生育させた細胞は強光照射により多量の活性酸素に曝されることが確かめられた。また、そのレベルは前もって光条件下で生育させた細胞では減少した。また、光刺激を受けた一部の細胞では、アポトーシス様の核凝縮と断片化が起きていることがアルカリコメットアッセイによって実証された。以上のことから、ブレファリスマは光照射によって酸化ストレスを受けていることが結論づけられた。

次に、そのような危機的状況において、どのような防御機構がはたらいっているかを予測するために、光照射条件下で発現量が増加する遺伝子をディファレンシャルスクリーニング法によって獲得した。いくつかの候補遺伝子の中で、グルタチオン S-トランスフェラーゼ(GST) 遺伝子は特に発現量が増加した遺伝子であり、なおかつ繊毛虫では初めての報告となるため、さらに詳細な解析をおこなうことにした。ライブラリースクリーニングの結果、さらにもうひとつの GST 遺伝子を発見し、それぞれ BjGST1, BjGST2 と命名した。ふたつの GST 遺伝子はアミノ酸レベルで 86%の相同性を示し、分子系統解析の結果、原生動物に特異的な GST であることが明らかにされた。また、それぞれの発現タンパク質はホモダイマーを形成するだけでなく、ヘテロダイマーとしても相互作用し、異なる酵素活性をもつことが確認された。

また、光照射時における両遺伝子の経時的発現量の変化は非常によく似たパターンを示し、同様の発現機構によって調節されていることが示唆された。サザンプロット解析の結果、両遺伝子はゲノム上でタンデムに配置されており、約 500 bp の遺伝子間配列は通常の DNA 構造ではない特殊な構造(non B-DNA 構造)をとりやすいことが判明した。さらに、その配列中には線虫の酸化ストレス応答エレメントである SKN-1 結合配列が複数あり、この配列がブレファリスマの酸化ストレス応答に関わっていると考えられた。ゲノムデータベースより得られた他の原生動物のストレス関連遺伝子の近縁配列にも同様のエレメントが確認できたことから、この配列が線虫以下の真核生物において広く保存されている可能性が示唆された。

論文審査の結果の要旨

本研究は、原生動物ブレファリスマ表層部に多量に局在するキノン分子（ブレファリスミン）の光増感により生成する活性酸素種がもたらす極限的細胞酸化ストレスに対する細胞耐性および修復の分子機構を解明することを目的とし、その成果は3章からなる論文にまとめられている。第1章では、光照射した細胞体に発生する活性酸素量と細胞傷害の関係を細胞学的手法によって観察・検討した結果が述べられている。特に、光傷害による細胞死はDNAに損傷を受けた細胞を排除するためのアポトーシスであることを見いだしたことは重要である。第2章では、細胞を光照射した後に発現量が増加する複数の遺伝子（膜貫通型アミノ酸輸送体領域を有するタンパク質、翻訳伸長因子、チトクロムP450、グルタチオンS-トランスフェラーゼの遺伝子）をデファレンシャルスクリーニング法により単離し、これらのヌクレオチド配列とこれらがコードするタンパク質の推定される機能について述べられている。第3章では、単離された遺伝子のうち特に重要な役割を担うと考えられる2種のグルタチオンS-トランスフェラーゼ（BjGST1, BjGST2）遺伝子のゲノム上での位置関係および、その発現調節領域に存在する酸化ストレス応答因子結合部位の構造、2種の発現GSTタンパク質を使った高次構造と機能について論じられている。すなわち、BjGST1とBjGST2遺伝子はゲノム上でタンデムに配置し、これらの遺伝子間領域は特殊なコンフォメーションをとりやすい配列であること、そしてこの配列中には、線虫において知られている酸化ストレス応答因子SKN-1結合部位が複数存在することが明らかにされた。さらに、大腸菌において発現させたBjGST1とBjGST2タンパク質を用いた解析により、これらはホモ二量体およびヘテロ二量体を形成することを明らかにしている。さらに、複数の基質に対する酵素活性が検討され、この結果から、ホモ二量体とヘテロ二量体は細胞内において多機能的に働き、かつその機能は異なっていることが示されている。

本論文では、極限的酸化ストレス下にある細胞の防御耐性機構に関する多くの重要な知見が得られており、その知見に関して的確かつ論理的な考察がなされている。本論文は、極限的酸化ストレスに対する防御・耐性機構の全容解明に向けて大きく貢献する内容であると評価され、高知大学博士（理学）に値する研究内容を有していると認められた。

ふりがな	おおにし ひろまさ
氏名(本籍)	大西 宏昌 (高知県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	甲理博第11号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成18年3月23日
学位論文題目	A dyadic Tamm-Dancoff method by using a matrix-valued generator coordinate (生成座標の行列表現を用いたディアディック Tamm-Dancoff 法)
発表誌名	(1) Published 20 October 2004
	審査委員 主査 教授 岩崎 正春 副査 教授 松村 政博 副査 教授 逸見 豊

論文の内容の要旨

The traditional Tamm-Dancoff (TD) method is one of the standard procedures for solving the Schrödinger equation of fermion many-body systems. However, it meets a serious difficulty when an instability occurs in the symmetry-adapted ground state of the independent particle approximation (IPA) and when the stable IPA ground state becomes of broken symmetry. If one uses the stable but broken symmetry IPA ground state as the starting approximation, TD wave functions also become of broken symmetry. On the contrary, if we start from a symmetry-adapted but unstable wave function, the convergence of the TD expansion becomes bad. Thus, the requirements of symmetry and rapid convergence are not in general compatible in the conventional TD expansion of the systems with strong collective correlations.

To eliminate such a dilemma, we introduced a new TD method by using a matrix-valued generator coordinate. We started with a symmetry projected $U(n)$ wave function, which was constructed by basing on the Thouless's theorem, and developed a dyadic TD equation by using the non-Euclidean properties of the coset variables. The coset variables are defined on the non-commutative $U(n)$ group, which belong to the Grassmann manifold. We adopted the first order approximation of the TD expansion and finally reached new equations to get a self-consistent optimal solution. We discussed the features of our new method like; Why do we expect to work our new method well than traditional one. We also discussed the relation with the killer condition, which was described from generalized Brillouin theorem, and some relations with the soliton theory. For clear explanation of basic idea, the discussions has been made in the general form as much as possible.

論文審査の結果の要旨

電子系から原子核，クォーク物質にいたるまでフェルミオン多体系は自然界において非常によく現れる研究対象になっている．これらは現在，凝縮系としてまとめられ共通の理論的方法で議論されている．

これらフェルミオン多体系のシュレーディンガー方程式の標準的な解法の一つとしてタム・ダンコフ(TD)法がある．しかしこの方法では波動関数の対称性の破れとかタム・ダンコフ展開の収束性の悪さといった困難をともなっている．具体的には，系の対称性を保つ独立粒子型波動関数で状態を記述しようとする時，系全体が不安定になるという困難をともなう．一方，系の対称性を保ちつつ安定な波動関数を用いると，波動関数の TD 展開の収束性が悪くなる．

この困難を打開するためこの論文で生成座標の行列表現を用いたディアディック Tamm-Dancoff 法を提起した．すなわちサウレスの定理に基づいて作られた symmetry projected $U(n)$ 波動関数から出発する．さらに coset 変数の非ユークリッド性を用いて，ディアディック TD 方程式を導出した．Coset 変数は非可換 $U(n)$ 群上で定義され，グラスマン多様体に属している．この方程式を TD 展開して一次で近似すると自己無撞着な新しい方程式が得られる．この方程式の解は従来の TD 法より優れた性質をもっていることを示した．さらにまた，一般化されたブリリアン定理から記述されるキラ条件との関係およびソリトン理論との関係も議論した．

本論文はフェルミオン多体系全般に有効な新しい理論である生成座標の行列表現を用いたディアディック Tamm-Dancoff 法を提示したものである．しかしながら，この理論の具体的な適用例がないので説得力にいまひとつ欠けるのが惜まれる．総じて新しい一般論を提起しており博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める．

ふりがな 氏名(本籍)	くまもと こうじ 隈本 康司 (宮崎県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	甲理博第12号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成18年3月23日
学位論文題目	超高压反応の特性を利用した無触媒的縮合反応の開発と 環境調和型分子変換への展開
発表誌名	(1) <i>Chem. Int. Ed.</i> , 43 , 2015-2017 (2004). (2) <i>Synlett</i> , 2254-2256 (2005). (3) <i>Tetrahedron Lett.</i> , 46 , 6953-6956 (2005).
	審査委員 主査 教授 小槻日吉三 副査 教授 吉田 勝平 副査 教授 阿万 智治

論文の内容の要旨

機合成化学における最近の重要なテーマの一つに、「環境調和型有機合成」の開発が挙げられる。本研究では、そのアプローチの一つとして、超高压反応場において有効に促進される有機化学反応に着目し、種々の無触媒型縮合反応の開発を行った。さらに、得られた知見を基に環境調和型分子変換への展開を図った。以下に本学位論文の概要を記す。

1. チオフェンのDiels-Alder反応

チオフェンは高い芳香族性を有するため、Diels-Alder反応におけるジエン性は極めて低く、通常の条件では全く反応しない。これに対して、本研究では、チオフェンと無水マレイン酸のDiels-Alder反応に無溶媒・高圧条件の組み合わせを適用することで、劇的な促進効果が得られることを見つけた。

この無溶媒・高圧反応システムは、他のマレイミド系ジエノフィルに対しても、優れた一般性を示し、望むDiels-Alder付加体が無触媒的かつ高収率で得られることを明らかにした。

2. フラン類のdomino Diels-Alder反応

近年、ヘテロ原子が架橋したポリノルボルナンの研究が超分子化学の分野で注目を浴びている。これらを直接的に合成するには、複素環化合物のdomino Diels-Alder反応が有効であるが、その成功例はほとんどない。本研究では、ポリオキサノルボルナンの効率的合成法の開発を目的として、フラン類のdomino Diels-Alder反応に高圧・無溶媒システムを適用し、好収率で目的付加体を得ることに成功した。

3. カルボニル化合物のケタール化及びOxy-Michael/ケタール化反応

ケタール化合物はカルボニル基の保護基として有用である。これらは通常酸触媒存在下、アルコールとカルボニル化合物との縮合反応によって合成される。しかし、環境調和型分子変換を目指すには、より中性条件下での反応が求められる。本研究では、この系に高圧力を適用し、望むケタール誘導体を無触媒的かつ定量的に得ることに成功した。

4. 多成分系Strecker反応

Strecker反応は α -アミノニトリルの合成法として重要な反応のひとつであり、とくに β -アミノ酸合成において有用なルートを提供する。この反応はアルデヒドをカルボニル成分とする場合は比較的容易に進行するが、ケトンを用いた場合立体障害が原因となり、基質によってはうまく反応が進行しない。本研究では、ケトン、アニリン、トリメチルシリルシアニドの三成分系Strecker反応に高圧力を適用し、望む β -アミノニトリルを無触媒的かつ高収率で得ることに成功した。

5. 水熱条件下でのケトンとアニリンの縮合反応

水中での有機合成反応の実現は環境調和型反応を志向する上で最も重要な課題のひとつである。このような発想のもとに、本研究では、*o*-フェニルアニリンと環状ケトンとの縮合反応に水熱反応を適用し、収率よく対応するフェナントリジン誘導体が得られることに成功した。さらに、この水熱縮合反応の有用性を拡張する目的で、アニリン類の芳香族アルキル化を検討し、望む反応が水熱条件下、比較的スムーズに進行することを明らかにした。

6. シクロヘキシルベンゼン誘導体の *cis/trans* 異性化反応

1,4-二置換シクロヘキシルベンゼン誘導体は液晶材料として有用であり、その際、トランス体のみが液晶性を示すことが知られている。本研究では、シス体のトランス体への異性化反応に対して種々の酸試薬を検討し、トリフルオロメタンスルホン酸 (TfOH) が劇的な促進効果を与えることを見つけた

論文審査の結果の要旨

本論文は、近年非常な勢いで発展しつつある環境調和型分子変換へのアプローチとして、「超高压反応、化学量論反応、無溶媒反応、無触媒反応、水溶媒反応」等の特徴として、種々の効率的分子変換、官能基変換、C-C結合形成反応等の開発に関する成果を記述したものである。

すなわち、本論の第2章では、チオフェンのDiels-Alder反応について、超高压 - 無溶媒システムを利用して、世界最高水準となる高効率な付加物合成法を確立するとともに、アクリル系ジエノフィルに対する世界最初の成功例を示した。

第3章では、フラン類の多重Diels-Alder反応について、前章で得られた成果を基盤として、フランの*domino*-Diels-Alder反応を実現し、得られた生成物の立体構造を明らかにするとともに、それらの超分子化学への利用価値に対する可能性を明らかにした。

第4章では、ケトン類のケタール化及び α,β -不飽和エノン類のoxy-Michaelケタール化反応について、超高压 - 無触媒システムを活用して、中性条件下での高効率分子変換反応を達成した。

第5章では、アニリン類とケトンとの縮合反応について、水熱反応条件を適用し全く新規となる芳香環アルキル化反応の実現に成功した。この場合、特にオルト位に置換基がある系については、比較的高収率でのアルキル化を達成している。

第6章では、シクロヘキシルベンゼン誘導体の *cis/trans* 異性化反応について、超強酸として知られるTfOHを新規異性化試薬として開発し、高速かつ高効率な異性化反応を達成した。また、芳香環上に電子吸引基を有する基質については、超高压反応を併用することで低反応性の問題を解消できることも明らかにした。

以上の内容は、3編の国際誌への学術論文としてまとめられている。なお、これら以外にも関連する業績として5編の国際誌への学術論文、2編の総説、1編の特許等の業績もある。

このように、本論文で明らかにされた研究成果は、21世紀における最大関心事の一つであるグリーンケミストリー分野の発展に対して新しい方向性を示すとともに、関連領域の学術研究基盤の充実に対して多大な貢献をするものと高く評価される。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値を有するものと判断される。

ふりがな	はしもと よしのり
氏名(本籍)	橋本 佳典 (高知県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	甲理博第13号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成18年3月23日
学位論文題目	QCD-like 理論でのカイラル相転移の有効ポテンシャルによる研究
発表誌名	Progress of Theoretical Physics, Vol. 114, No. 3, September 2005
	審査委員 主査 教授 岩崎 正春 副査 教授 松村 政博 副査 教授 逸見 豊

論文の内容の要旨

有限温度 T 、有限密度(クォーク化学ポテンシャル) μ での量子色力学(QCD)の相構造はQCDの現象から研究されている。今日では、高エネルギーの重イオンビームを用いた衝突実験によって高励起QCD物質が生成されている。また、極めて高密度で、低温度のハドロン物質は中性子星の内部構造の物理にも関連している。真空で自発的に破れているQCDのカイラル対称性は、十分に高い温度、高い密度で回復するであろうということは現在では受け入れられた概念である。有限温度、有限密度での格子QCDの研究は日々進歩しているが、数値計算では物理的で現実的な条件において実行されるにはまだ困難がある。そのため、特に有限密度に関しては、QCDの特性を与えることができるモデルによる研究は有用である。有効ポテンシャルは有益な道具であり、それらの研究を通して相転移の性質に関連する明白な描写を与えることができる。

本研究では、臨界点付近での有効ポテンシャルの形状の変化に興味があるので、有効ポテンシャルを用いて有限温度、有限密度でQCD-like理論のカイラル相転移を解析した。QCD-like理論はQCDのSchwinger-Dyson(SD)方程式に関する繰り込み群の改良したladder近似である。このモデルはクォーク質量関数の補正された高エネルギーの振る舞いを保った状態で真空での動力学的カイラル対称性の破れを記述することが出来るという利点を持っている。そこで、このモデルで相転移の大域的な振る舞いを解明するために、有効ポテンシャルを導出する方法を考案した。方法としてはbilocalな外場を導入し、この外場を持つSD方程式を解く。このSD方程式の解は外場を持つ有効ポテンシャルの極値を与える。そして外場を持つ相互作用エネルギーを代入して、結果的に独自の有効ポテンシャルを構成することを可能とした。この方法で、有限温度、有限クォーク化学ポテンシャルでのQCD-like理論の有効ポテンシャルの形状を示した。これまで、Cornwall-Jackiw-Tomboulis (CJT)ポテンシャル関数はモデルでの非摂動の極値の解を決定するための試みであるいくつかの仕事で使われているが、極値以外ではCJTポテンシャルの物理的意味は不明瞭である。このいくつかのアプローチの代わりに、我々はQCD-like理論での補助場の方法を用いて有効ポテンシャルを構成した。停留的な相近似の範囲内で、このポテンシャルの解は極小値であることが知られており、外場が無くなったときCJTポテンシャルに一致する。これは変分法に関する適した特性であり、ゲージ不変性が厳密に扱われるという条件で、ダイクォーク凝縮体のようなほかのオーダーパラメータに応用されるだろう。

本研究の結果は有効ポテンシャルの温度依存性から、 $\mu=0$ で T を0から増加させると2次相転移を得た。対照的に、 $T=0$ で μ を増加させると1次相転移を得た。また、このモデルで初めてLandauポテンシャルを導入し、クォーク凝縮体とクォーク数密度に関する等高線をプロットした。QCD-like

理論の有効ポテンシャルを構成するために本研究で用いた方法は、モデルのカイラル対称性の特徴を理解するためにとても有益であるということが結論である。

論文審査の結果の要旨

申請論文は、近年多大な興味を持たれている、強い相互作用を支配するQCD（量子色力学）がもたらすクォーク・ハドロンの相構造の解明に関係して、特にカイラル対称性に着目してQCDのカイラル対称性の相構造を明らかにする目的でなされた理論的研究による成果をまとめたものである。基礎理論であるQCDを直接扱う数値的な手法として格子QCDがあげられるが、QCDの相構造を理解するためには有限温度・有限密度の系を扱わねばならず、未だ容易ではない。しかるにこれまでは簡単なQCDに動機付けられた有効モデルによる理論的研究がなされていたが、申請論文ではQCDにより基づいたQCD-like理論に着目し、カイラル相構造を明確にしようと意図されている。カイラル相転移の様相を示すために、申請論文ではカイラル相転移の秩序変数となるクォーク凝縮やパイオン崩壊定数、運動量に依存した質量関数などの量を計算しており、相転移に関して明快な結果を得ているが、有効ポテンシャルを計算することによって、より一層相転移の様相が明らかになるような工夫がされている。従来のCJTポテンシャルでは有効ポテンシャルの極値のみ物理的な意味があり、それ以外のところは意味の無い人工的なものであるので有効ポテンシャルの大局的な様相を描いてもさほど意味が無く、そこから相転移の次数を引き出すことにどれだけの正当性があるか明確でない。しかし、申請論文では外場の応答を考えることによって、外場のもとで常に極値になる有効ポテンシャルの導出法を考案し、これにより、外場が存在しないときには極値にならない点にも物理的な意味を与えながら大局的な有効ポテンシャルを構成することに成功した。この方法は、QCDの有効模型の一つである南部・ジョナラシーニヨ模型において先行する一例があるのみで、質量関数が運動量に依存する場合に構成したのは申請論文が初めてである。さらに、この有効ポテンシャルから、クォーク凝縮とクォーク密度の関数であるランダウポテンシャルを構成し、カイラル相転移の様相を視覚的に明瞭にしている。質量関数が運動量に依存するQCD-like理論での有効ポテンシャル、ランダウポテンシャルの構成、及び数値計算による相転移の視覚化は特筆に値する成果である。また、三重臨界点の値もこのモデルで理論的に予想している。申請論文はQCDのカイラル相構造の理解に関して、有効ポテンシャル、ランダウポテンシャルによる方法を与え、実際に数値計算によりその様相を明瞭にするなど、この研究分野に対する寄与が十分に認められる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。

ふりがな 氏名(本籍)	ふー しゅうらん フー シュウラン (中国)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	甲理博第14号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成18年3月23日
学位論文題目	Formation mechanism and phase relation of calcium silicate hydrates under hydrothermal conditions (水熱条件下でのケイ酸カルシウム水和物の生成機構と相関係)
発表誌名	(1) <i>Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan</i> , 2005, in press
	審査委員 主査 教授 柳澤 和道 副査 教授 梶芳 浩二 副査 教授 サントシュ

論文の内容の要旨

Calcium silicate hydrates play an essential role in the hydration process of cements and cement-based materials. Their compositions vary a wide range of calcium/silicon (Ca/Si) ratio between 0.44-3.0. Syntheses of calcium silicate hydrates have been carried out by different hydrothermal techniques. Most of the current researches in this area are focused on the elucidation of the structural relationship and formation mechanism of the calcium silicate hydrates. However, the formation conditions and mechanisms of various calcium silicate hydrates have not been clearly understood due to many analogous metastable phases formed during reaction processes.

In this study, CaCO_3 , amorphous silica powder and crystalline silica (fine quartz powder under 325mesh) were used as raw materials. Two hydrothermal processes were used for hydrothermal reactions. The room temperature mixing method initiate the reactions from room temperature and the high temperature mixing method initiate the reactions at a desired high temperature.

The hydration of $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ synthesized by solid state reaction was first carried out under hydrothermal conditions at temperature from 50°C up to 400°C by the two processes. 8 kinds of crystalline hydration products of calcium silicate hydrates were formed at the initial stage of the hydration from $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$. It was found that $\text{-C}_2\text{SH}$ was directly formed from $\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ at low temperatures below 220 °C. The products obtained at above 240 °C were different in dependence on the hydrothermal processes, due to the different decomposition route of $\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ hydrate, the initial product from $\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$.

The effect of two hydrothermal processes on formation of calcium silicate hydrates were investigated at 250 °C from three precursors with Ca/Si molar ratio of 2.0. $\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ hydrate was formed as an initial phase from all starting materials by high temperature mixing method

and from β - Ca_2SiO_4 by the room temperature mixing method. After the reactions for 1d, it was first confirmed that jaffeite ($\text{Ca}/\text{Si}=3.0$) and kilchoanite ($\text{Ca}/\text{Si}=1.5$) were formed through C_3S_5 from α - Ca_2SiO_4 hydrate by high temperature mixing method. The formation conditions and formation mechanisms of calcium silicate hydrates were discussed in detail.

In the $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ system, the stability and phase relation of three types of dicalcium silicate hydrates (α - C_2SH , hillebrandite and dellaite) under hydrothermal conditions were first investigated. Hydrothermal treatments of α - C_2SH indicated that Ca-rich jaffeite and reinhardbraunsite ($\text{Ca}/\text{Si}=2.5$) were formed as intermediate phases before complete transformation to dellaite at 350°C for 1 day. The phase transformation from α - C_2SH to hillebrandite was not observed. On the other hand, hillebrandite directly transformed to dellaite but the transformation needed high temperature (400°C). The formation region of dellaite from different precursors was determined.

論文審査の結果の要旨

ケイ酸カルシウム水和物は、セメントの水和により生成する化合物であり、工業製品としても重要な材料である。しかし、この系には組成が類似した40種類もの化合物が存在し、反応条件により生成物が大きく異なり、相関係が非常に複雑である。本研究は、ケイ素とカルシウムの組成比が1:2の組成に着目し、ケイ酸カルシウム水和物の水熱合成と生成する化合物の相関係を研究したものである。本研究では、高温の水熱条件下で反応を開始できる高温混合法を開発し、室温から反応を開始する方法との比較により、 C_2S からの水和生成物が異なることを見出し、その反応過程を明らかにした。低温での水和反応では反応方法によらず C_2S からは C_2SH が生成するが、より高温では C_2SH が初期水和物として生成し、その C_2SH の分解過程が室温から水和を開始した場合と高温で水和を開始した場合とは異なり、その結果、高温で生成する水和物が反応方法により異なることを示した。 C_2S の他に、酸化カルシウムと石英粉末、あるいは非晶質シリカの混合物を原料として用い、原料の種類が水和生成物におよぼす影響についても検討し、水酸化カルシウムの溶解度が低い高温で水和反応を開始することにより、カルシウムリッチな化合物が生成するために、室温から水和を開始する方法とは生成物が異なることを明らかにしている。また、ケイ素とカルシウムの組成比が1:2である3種のケイ酸カルシウム水和物(α - C_2SH , hillebrandite, dellaite)の相関係を調べ、 α - C_2SH からhillebranditeへは変化が起きないこと、 α - C_2SH からdellaiteへはカルシウムリッチな別な相を経由して変化すること、hillebranditeとdellaiteは温度を変化させることにより相互に相転移すること、hillebranditeやdellaiteを低温で水熱処理しても α - C_2SH へは変化せず、 α - C_2SH は安定相ではないこと、などを初めて明らかにした。これらの成果は、3編の学術雑誌に査読付き論文として公表されている。このように、本研究ではケイ酸カルシウム水和物の安定性や相関係について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者フー シュウラン は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。

ふりがな	しらき ひさお
氏名(本籍)	白木 久雄 (高知県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	甲理博第15号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成18年3月23日
学位論文題目	Braids and fixed point indices of homeomorphisms on the torus (組み紐とトーラス上の同相写像の不動点指数について)
発表誌名	(1) Hokkaido Mathematical Journal, Vol.32, No.1, pp. 59-74, 2003. 2
	審査委員 主査 教授 逸見 豊 副査 教授 下村 克己 副査 教授 大坪 義夫

論文の内容の要旨

Let X be a compact connected polyhedron and $f: X \rightarrow X$ a continuous map. A fixed point of f is a solution of the equation $x = f(x)$. We will denote by $\text{Fix}(f)$ the set of all fixed points of f . Fixed point theory studies the nature of the fixed point set $\text{Fix}(f)$ in relation to the space X and the map f , such as existence, the number of fixed points $\# \text{Fix}(f)$, and the behavior under homotopy i.e., how $\text{Fix}(f)$ changes when f changes continuously, etc.

The best known fixed point theorem in topology is the Lefschetz fixed point theorem. However, the Lefschetz fixed point theorem can tell the existence of fixed points only. In contrast, Nielsen theory gives a lower bound for the number of fixed points. The generalized Lefschetz number $L(f)$ is a topological invariant which is one of the most important tools in the Nielsen fixed point theory. In the case of the disk, $L(f)$ has been calculated concretely. In contrast, in the case of a closed surface, a theoretical scheme of $L(f)$ has been given, though a concrete calculation of $L(f)$ has not been done yet.

Let $h: T^2 \rightarrow T^2$ be a homeomorphism on the 2-dimensional torus T^2 isotopic to the identity map. In this thesis I considered its fixed point set. I assumed that two fixed points of h had been found. Then, I classified all the other fixed points into Nielsen classes and found some relations among fixed point indices of h by applying the theory of the generalized Lefschetz number. It is known that the abelianization of the generalized Lefschetz number $L(f)$ becomes a polynomial. I showed that a reduced form of the polynomial is symmetric under a certain condition.

論文審査の結果の要旨

位相空間の自己同相写像の不動点の研究は、位相幾何学において重要な研究対象のひとつである。ここで不動点とは次のように定義されるものである。すなわち、 X をコンパクトで連結な多面体とし、 $f: X \rightarrow X$ を連続写像とする。このとき f の不動点 x とは、方程式 $x=f(x)$ を満たす解のことをいう。また、 $Fix(f)$ で f の不動点全体の集合とする。

位相幾何学において最もよく知られている不動点定理は Lefschetz によるものである。しかしながら、Lefschetz の不動点定理は、不動点の存在についてのみ論じており、不動点の個数の評価に関する研究に適用するには十分な定理とはいえない。一方、不動点の研究において重要な理論のひとつである Nielsen による理論は、不動点の個数の下限を与えるものになっている。中でも位相不変量である一般化された Lefschetz 数 $L(f)$ は、Nielsen の不動点理論において最も重要な手段のうちのひとつといえることができる。 $L(f)$ は、例えばディスク上では完全に決定されているが、閉曲面の場合には理論的枠組みは既に与えられてはいるが、決定付けるまでには至っていない。

本論文では、2次元トーラス T^2 上で定義された、恒等写像にイソトピックな同相写像の不動点について考察している。 $h: T^2 \rightarrow T^2$ を2次元トーラス上の同相写像で、恒等写像にイソトピックなものとする。この場合 $L(h)=L(id)=L(T^2)=0$ となり、不動点に関する情報は何も得られない。ただし (T^2) は T^2 の Euler 標数である。そこで、 h の不動点に関する何らかの情報を得るため、不動点から成る有限集合 C を考え、 h を T^2-C に制限する。ところが T^2-C はコンパクトでないので、この空間には一般化された Lefschetz 数の理論は適用できない。そこで、 h のコンパクト化である、プローイングアップ $f: X \rightarrow X$ を考える。このようにして得られた写像 f の不動点を考察するのであるが、元の写像 h の不動点でないものが含まれる可能性がある。この場合、 h が C 上で微分可能であれば、その微分からそれら全体が決定されるので、 f の不動点を調べることにより、 h の不動点に関する情報を入手できるのである。

そこで、申請者は C として2点からなる集合を考えている。すなわち、 h の2つの不動点が見つかったとする。そのとき、 C をそれら2つの不動点からなる集合とする。そこで、 h の他のすべての不動点を Nielsen クラスに分類し、一般化された Lefschetz 数の理論を適用することにより、 h の不動点指数の間に成立する関係を見つけている。また、一般化された Lefschetz 数のアーベル化は多項式になることが既に知られているが、ここでは、その多項式を簡約化したものが、ある種の条件の下で対称多項式になることを示している。

本研究は、一般化された Lefschetz 数の理論を用いて、2次元トーラスの自己同相写像の不動点全体を Nielsen クラスに分類し、与えられた自己同相写像の不動点指数の間に成立する関係を見出したもので、不動点理論において重要な結果を含む価値ある内容であると認める。

ふりがな 氏名(本籍)	おおの おさむ 大野 修(石川県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	乙理博第4号
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与年月日	平成18年3月9日
学位論文題目	Numerical study for descriptions of pi and sigma mesons by Nambu-Jona-Lasinio Model with the use of resonating mean field theory (共鳴平均場理論を用いた南部-ジョナラシニオ模型によるパイとシグマ中間子の記述に対する数値的研究)
発表誌名	(1) Nuclear Physics A 688, p.882-p.904, 2001
	審査委員 主査 教授 岩崎 正春 副査 教授 松村 政博 副査 教授 鈴木 知彦

論文の内容の要旨

The Resonating mean (Res-mean) field theory is able to treat large quantum fluctuations and strong correlation effects in a rigorous manner because take into account quantum- and dynamical- tunneling indescribable by the RPA and mode-mode coupling theories. Of course, it can also deal with small quantum fluctuations, which is describable by the usual random phase approximation (RPA). Thus, it has a possibility to reveal surprisingly dramatic aspects of the physics of fermion systems with large quantum fluctuations.

Meanwhile, using the Nambu-Jona-Lasinio (NJL) model, a dynamical chiral-symmetry breaking, light-mesons spectra and properties of the mesons have been investigated on the basis of the conventional Hartree-Fock (HF) and time-dependent HF (TDHF) approaches. Recently, in order to show the superiority of the Res-mean field theory over the usual mean field theory, Nishiyama and Providencia have applied it to the naive NJL model without isospin. They investigated that a state with large quantum fluctuations is approximated by superposition of two Dirac seas, namely non-orthogonal Slater determinant with different correlation structures. In this paper, they succeed to describe mass spectrum of pion and associated properties.

As an advance on that investigation, we have been applied the Res-mean-field theory to the naive NJL model with only one single flavor but without isospin to describe more accurately phenomena of the pion and the sigma meson. The attempt has been succeeded in explaining the pion and sigma meson masses, however the value of the order parameter for quark condensate and

the pion decay constant are too small compared with experiment value. We guess that the Res-mean field approximation including no isospin causes such a serious problem. By an extension of the NJL model to include two flavor degrees of freedom and isospin, values for the order parameter for quark condensate and the pion decay constant are expected to be improved. As a result of numerical study, the order parameter and the pion decay constant produce good results, and the sigma meson mass spectrum reaches experimental value.

論文審査の結果の要旨

最近の量子多体系の取り扱いにおいて、大きい量子揺らぎや強い粒子相関をもつ多体系が重要になっている。なぜなら従来からある乱雑位相近似 (RPA) やモード - モード結合理論ではそのような強い非線形効果は取り扱えないからである。最近、そのような大きな量子揺らぎや粒子相関をもつ系にたいしても有効な理論のひとつとして共鳴平均場理論が提唱された。本論文はこの共鳴平均場理論を、ハドロン物理学における南部 - ジョナラシニオ模型に適用し、パイ中間子とシグマ中間子の諸性質を統一的に説明しようとするものである。

ハドロンの持つ重要な性質であるカイラル対称性の自発的破れを説明するモデルとして南部 - ジョナラシニオ模型がある。従来、比較的軽い中間子の質量スペクトルや種々な物理量を平均場近似 (ハートレーフォック近似など) を用いて計算されてきたが、最近、西山 - プロビデンシアによって南部 - ジョナラシニオ模型に共鳴平均場近似を適用し、パイ中間子とシグマ中間子を統一的に記述する理論が提唱された。彼らは大きい量子揺らぎを持つ状態を2つのフェルミの海の重ねあわせにより表現し、パイ中間子とシグマ中間子の質量スペクトルを説明することに成功した。しかし、クォーク凝縮の秩序変数とパイ中間子の崩壊定数の計算値は実験値より小さくなりすぎ、実験値を再現することはできなかった。

本論文では上記の原因をクォークのアイソスピンを無視したことと考え、アイソスピン (2つのフレーバー自由度) を考慮した共鳴平均場近似を用いてパイ中間子とシグマ中間子の質量スペクトルおよびクォーク凝縮の秩序変数とパイ中間子の崩壊定数を計算した。計算結果はアイソスピンを取り入れた結果、パイ中間子とシグマ中間子の質量スペクトルを説明するとともに、クォーク凝縮の秩序変数とパイ中間子の崩壊定数の実験値を再現した。

本論文は共鳴平均場理論がハドロン物理学の有効理論である南部 - ジョナラシニオ模型においても有効であることをはじめて示したものであり、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。

ふりがな	おおもり のぶはる
氏名(本籍)	大盛 信晴(高知県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	乙理博第5号
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与年月日	平成18年3月9日
学位論文題目	チャカルタヤ空気シャワー実験によるKnee領域の宇宙線化学組成とエネルギースペクトル
発表誌名	(1)Proc. 27 th ICRC Vol.1(2001)141-144
	審査委員 主査 教授 岩崎 正春 副査 教授 松村 政博 副査 教授 西岡 孝 副査 助教授 普喜 満生

論文の内容の要旨

歴史的には約50年前(1959)空気シャワーのサイズスペクトルの折れ曲がりとして見つけられ、Kneeと呼ばれる領域は 10^{15} eVから 10^{16} eVのエネルギー領域に対応し、銀河内で行われる高エネルギー宇宙線を特徴付けている。それはこの領域が宇宙線源として可能性のある超新星残骸で粒子を加速できる最大のエネルギーであり、また磁場によって宇宙線を銀河内に閉じ込めることのできる最大エネルギーにも対応しているからである。そのためこの領域での宇宙線の化学組成とそのエネルギースペクトルおよびそれに関連する異方性が調べられれば、銀河宇宙線の生成起源がわかる。しかしながら、この領域の宇宙線を飛行体やバルーンを用いて直接測定するには頻度が低いことに加えカロリメータ的測定には限界があるため難しく、大気中で作られる大量の二次粒子(空気シャワー)を観測する地上のアレイを用いた間接測定に頼らざるを得ない。これまで地上での空気シャワー観測は電子密度検出器、ミュオンやハドロン検出器およびチェレンコフ検出器などを組み合わせた複合アレイを用いて観測されてきた。しかし、間接測定を前提としているため、観測結果から結論を得るには、宇宙線組成とエネルギースペクトルをパラメータにして計算されたシミュレーション結果を観測データと比較することにより最適の答えを求めるとらざるを得なかった。このようにスペクトルと組成の二つの仮定のもとで明確な答えを求めるのは難しい。それに対して、電子密度から空気シャワーの総電子数(サイズ)を求めることは易しい、したがって、もし空気シャワーの発達に対して効果的な高度を選び観測すればエネルギーの推定は十分な精度で求められる。とくにチャカルタヤ高度(海拔5200m)は、ちょうど 10^{15} eVから 10^{16} eVのエネルギー領域でシャワーの発達が最大になり、そのときのサイズは一次宇宙線の組成に大きく依存せず入射エネルギーに比例するのでKnee領域の観測に適している。この研究ではチャカルタヤ山で連続観測した5年間の空気シャワーデータをを用いて一次宇宙線の組成を仮定した上でのKnee領域の宇宙線エネルギースペクトルを求めた。とくに、検出器の効果も入れた空気シャワーシミュレーションを用いることによりシミュレーションデータを実験データと同じ過程で解析し、各組成(P, He, C, Si, Feグループ)それぞれにたいしてデータのサイズと実験データとの対応を求めた。結果として組成の違いによるサイズスペクトルは想定されたようにKneeの折れ曲がりの位置は各組成グループによって変化するが、より低いサイズ領域では各組成間で一致する結果が得られた。このサイズスペクトルから各組成グループに対するエネルギースペクトルに焼きなおすことができた。本研究では、観測高度を利用してサイズスペクトルを精度よく求め、それを基礎として得られたエネルギースペクトルを他の観測高度での結果と比較することによりKnee領域での宇宙線の化学組成と加速機構もふくめた宇宙線起源の問題について考察する。

論文審査の結果の要旨

本論文は宇宙線の化学組成と加速機構も含めた宇宙線の起源の問題を議論している。すなわち、観測高度を利用して宇宙線の空気シャワーのサイズスペクトルを精度よく求め、それを基礎として得られたエネルギースペクトルを他の観測高度での結果と比較することによりKnee領域(10^{15} eVから 10^{16} eVのエネルギー領域)での宇宙線の性質を議論している。

Knee領域宇宙線はそのエネルギーが 10^{15} eVから 10^{16} eV領域に対応し、銀河内でつくられる高エネルギー宇宙線の特徴をもっていることがよく知られている。この領域での宇宙線の化学組成とエネルギースペクトルおよびその異方性を調べることにより銀河宇宙線の生成起源がわかる。しかしながらこれまでの研究では宇宙線組成とエネルギースペクトルについて充分正確な結果が得られていなかった。その理由は3つに大別される。実験装置や測定・解析法が実験グループごとに違っている。化学組成が変わるのか、エネルギースペクトル自体が変わるのか、さらにエネルギーによって相互作用の様子が変わっているのか。

本論文では、空気シャワーの総電子数(サイズ)によりエネルギーの推定が十分なされることに注目した。したがって空気シャワーが最も発達する高度を選び観測すれば、は回避され、エネルギーの推定は十分な精度でなされる。とくに、チャカルタヤ山(海拔5200m)の高度は、ちょうど 10^{15} eVから 10^{16} eVのエネルギー領域でシャワーの発達が最大になり、Knee領域の宇宙線の観測に適している。この研究では筆者がチャカルタヤ山における実験に参加し、5年間にわたり観測された空気シャワーデータを用いて、一次宇宙線の組成を仮定した上でKnee領域の宇宙線のエネルギースペクトルを求めた。さらに、各成分(P, He, C, Si, Feグループ)それぞれに対してデータのサイズスペクトルと実験データとの対応を求めた。その際、高エネルギー加速器実験から得られた原子核相互作用や電磁相互作用の最新のシミュレーションモデルを適用しており、の可能性は低いことが分かっている。結果として組成の違いによるサイズスペクトルはKneeの折れ曲がりの位置は各組成グループによって変化するが、より低いサイズ領域では各組成間で一致する結果が得られた。このサイズスペクトルから各組成グループに対するエネルギースペクトルが得られた。結局、の問題には明確な結果は得られなかったがこの領域は幾つかの成分の重ねあわせで説明できることがわかった。

以上により、本論文はKnee領域の宇宙線の化学組成とエネルギースペクトルについて世界ではじめて精度のよい結果を導いたものであり、十分に博士論文に値するものである。

ふりがな	すえなが ひとし
氏名(本籍)	未永 仁士(山口県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	乙理博第6号
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与年月日	平成18年3月9日
学位論文題目	有機官能基変換法の開発による有機液晶材料の合成と液晶材料の機能評価
発表誌名	(1) Mol. Cryst. Liq. Cryst., 144, 191-198 (1987) (2) Organic Process Research & Development, 8, 389-395 (2004)
	審査委員 主査 教授 小槻日吉三 副査 教授 吉田 勝平 副査 教授 阿万 智治

論文の内容の要旨

情報社会の現在、表示素子は、日常生活の中になくはない存在となっている。ラップトップコンピュータ、オーディオ、携帯電話、テレビなどの電化製品の表示体には、液晶ディスプレイが多く使用されている。これらの電子部品に使用される材料に要求される性能は、ハードの改良と共に多様化し、改良が続けられており、使用されている液晶は、性能を出す為に必要な骨格構造、官能基をもち大量生産性など様々なハードルを乗り越えた化合物が完成品として製品化される。

本論文では、芳香族化合物の選択的官能基変換、複素環化合物の効率的合成、強誘電性/反強誘電性液晶材料の開発について記述する。

1. 芳香族化合物の選択的官能基変換法として、フェノール類のトリフルオロメタンスルホン酸エステル(アリアルトリフラート)誘導体及び電子吸引基を有する芳香族フッ素化合物の高い反応性に着目し、芳香環或いは複素芳香環化合物の芳香族求核置換反応を利用して、種々の芳香族アミンの簡便な合成方法を開発した。
2. 1. の延長として、アリアルトリフラート誘導体のパラジウム触媒による脱酸素化及びヒドロホルミル化反応を開発し、その高い一般性を明らかにした。
3. キナゾリン骨格を有する複素環化合物の効率的な合成法として、1の延長となるアミジン類を求核試薬とする合成法を開発した。
4. 他の有用な液晶材料として1, 3 - ジオキサン誘導体がある。それに必要な基本原料であるトランス - 2 - シクロヘキシル - 1, 3 - プロパンジオールの効率的な合成法を開発した。
5. キナゾリン系複素環化合物の液晶に関する報告例はほとんどない為、液晶性の評価を行いスメクティック性が高い化合物であることを明らかにした。
6. フェニルピリミジン骨格を有する強誘電性液晶材料は、単体で室温領域に強誘電相を有する化合物であり、組成物の構成成分として必要な材料であることを明らかにした。
7. フェニルピリダジン骨格を有する強誘電性液晶化合物は、誘電率異方性が負の材料であり、強誘電相のみを示す化合物であるが、駆動特性のよい組成物を構成できることを見出した。
8. 5 ~ 7. の液晶性データを参考にして開発したフェニルピリミジン及びフェニルピリジン骨格を有する反強誘電性液晶材料の液晶性は、分子分極性に大きな影響を受けることを明らかにした。

以上、本論文で記述した芳香族化合物の芳香族アミノ化、フェノール性水酸基の脱酸素化及びヒドロホルミル化などの選択的官能基変換やキナゾリン、ジオキサンなどの複素環化合物の効率的な合成法は、種々の有機機能性材料の開発として有用性に優れている。

さらに、ピリミジン、ピリダジン、ピリジン、キナゾリン骨格を有する液晶化合物の開発と液晶性に関する内容は、液晶性物質が多く含まれる生体系材料開発や液晶性化合物の材料設計の際に有益な指針となり、有機機能性材料分野の発展に多大な貢献をするものと確信する。

論文審査の結果の要旨

近年、情報表示材料としての需要の高まりから有機液晶材料の開発が非常な関心を集めている。本論文では、この分野への独自性の高い貢献を目的として実施され、選択的・効率的有機官能基構築法の開発、その成果を基盤とした強誘電性および反強誘電性液晶材料の開発、それらの機能性評価等の結果についてまとめたものである。

すなわち、本論第1章では、芳香族化合物の選択的官能基変換法の開発として、アリールトリフレートあるいは芳香族フッ素化合物の特性を利用して、アミン類との高圧あるいは常圧下での芳香族求核置換反応を基軸とする芳香族アミノ化反応の開発、パラジウム触媒によるフェノール性水酸基の脱酸素化反応および一酸化炭素存在下でのヒドロホルミル化反応を検討し、いずれも新規性に富み実用性にもすぐれた手法の開発に成功している。

第2章では、複素環化合物の効率的合成として、前章の成果を基盤として、フッ素のパラ位に電子吸引基を有する *o*-フルオロベンズアルデヒド誘導体とアミジン類との縮合によるキナゾリン化合物の合成、1,3-ジオキサン誘導体の骨格合成に必要な *trans*-シクロヘキサン環を2位に有する1,3-プロパンジオール類の合成を検討し、簡便性・実用性にすぐれた手法の開発に成功している。

第3章では、強誘電性液晶材料の開発として、フェニルピリミジンあるいはフェニルピリダジン骨格を有する種々の強誘電性液晶材料を合成し、それらが単体で室温領域においても強誘電相 (Sc^* 相) を呈することを見つけ、それらの複素環系基本骨格が構成成分として極めて重要な液晶特性を有することを明らかにしている。

第4章では、反強誘電性液晶材料の開発として、前章で得られた液晶性データを基盤として、新規なフェニルピリミジンおよびフェニルピリジン骨格を有する種々の反強誘電性液晶材料を合成し、液晶性が分子分極性によって大きな影響を受けることを明らかにしている。

以上の内容は、7編の国際誌への学術論文、15編の特許(うち外国特許3編)としてまとめられている。

このように、本論文で明らかにされた研究成果は、単に液晶材料の設計・合成・応用にとどまらず、基礎研究から応用研究までを包含する有機機能性材料開発の学術研究基盤の発展に対して多大な貢献をするものと高く評価される。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値を有するものと判断される。